[ARISTOTELE]
MECCANICA

Testo greco a fronte

A cura di Maria Fernanda Ferrini

Dedico questo lavoro ai miei genitori.
Mio padre lo avrebbe seguito da vicino;
mia madre ne ha reso possibile la realizzazione
con la sua presenza.

Introduzione

[...] τρίποδας γὰρ ἐείκοσι πάντας ἔτευχεν
ἑστάμεναι περὶ τοῖχον ἐϋσταθέος μεγάροιο,
χρύσεα δέ σφ' ὑπὸ κύκλα ἑκάστῳ πυθμένι θῆκεν,
ὄφρα οἱ αὐτόματοι θεῖον δυσαίατ' ἀγῶνα
ἠδ' αὖτις πρὸς δῶμα νεοίατο, θαῦμα ἰδέσθαι.

(Omero, *Iliade* 18, 373-377)

θαῦμα μὲν ἕκαστον ἡμῶν ἡγησώμεθα τῶν ζῴων θεῖον, εἴτε ὡς παίγνιον ἐκείνων εἴτε ὡς σπουδῇ τινι συνεστηκός· οὐ γὰρ δὴ τοῦτό γε γιγνώσκομεν, τόδε δὲ ἴσμεν, ὅτι ταῦτα τὰ πάθη ἐν ἡμῖν οἷον νεῦρα ἢ σμήρινθοί τινες ἐνοῦσαι σπῶσίν τε ἡμᾶς καὶ ἀλλήλαις ἀνθέλκουσιν ἐναντίαι οὖσαι ἐπ' ἐναντίας πράξεις, οὗ δὴ διωρισμένη ἀρετὴ καὶ κακία κεῖται.

(Platone, *Leggi* I 644 d-e)

«La meccanica è il paradiso delle scienzie matematiche, perché con quelle si viene al frutto matematico».

(Leonardo, cod. E 8 v.)

«La scienza delle mecaniche è quella facoltà, la quale ci insegna le ragioni e ci rende le cause degli effetti miracolosi che vediamo farsi, con diversi instromenti, circa il mover e alzar pesi grandissimi con pochissima forza».

(Galileo Galilei, *Le Mecaniche* 1-4 – versione breve)

«On sait jusqu'où est allée l'industrie des hommes dans certains machines: leurs effets son inconcevables, & paroissent tenir du miracle dans l'esprit de ceux qui ne sont pas versés dans la méchanique. Rassemblez ici toutes les merveilles dont vous ayez jamais oüi parler en ce genre, des statues qui marchent, des mouches artificielles qui volent & qui bourdonnent, des araignées de même fabrique qui filent leur toile, des oiseaux qui chantent, une tête d'or qui parle, un pan qui joue de la flûte: on n'auroit jamais fait l'énumération, même à s'en tenir aux généralités de chaque espece, de toutes ces inventions de l'art qui copie si agréablement la nature. Les ouvrages célebres de Vulcain, ces trépiés qui se promenoient d'eux-mêmes dans l'assemblée des dieux; ces esclaves d'or, qui sembloient avoir appris l'art de leur maître, qui travailloient auprès de lui, sont une sorte de merveilleux qui ne passe point la vraisemblance; & les dieux qui l'admiroient si fort, avoient moins de lumieres apparemment que les Méchaniciens de nos jours».

(*Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*, s.v. ame des bêtes)*

La *Meccanica* e il *Corpus Aristotelicum*

La *Meccanica* appartenente al *C. A.* è il più antico, fra i trattati greci pervenuti, che abbia per oggetto il funzionamento delle cosiddette macchine semplici, dalle quali l'uomo può ricavare notevoli e sorprendenti benefici. Nell'introduzione, dopo un breve e tradizionale richiamo alla 'meraviglia', a ciò che nella cultura greca è avvertito come stimolo di ogni ricerca, e dopo aver posto l'accento sulla necessaria individuazione delle cause, per capire i vari fenomeni, si definiscono gli ambiti di indagine della *mechane*, e i principi su cui essa si basa. L'argomentazione che segue è articolata attraverso lo schema della domanda e della risposta, secondo un procedimento ben consolidato anche nel Peripato; l'opera rientra pertanto nel genere della letteratura strutturata sotto forma di *aporiai*, *problemata*, *zetemata*, come l'altra opera peripatetica conservata, i *Problemi*.

L'influenza che ebbero, nel tempo, i *Problemi* spiega la fortuna di questo schema, spesso adottato ancora oggi per comunicare teorie e acquisizioni, per informare e per divulgare conoscenze di carattere enciclopedico ed eclettico, o solo per un dotto intrattenimento. Nell'antichità, parte della letteratura filologica, filosofica e scientifica è strutturata in domande e risposte (vd. Horänder 1994, col. 1417 ss.; Ieraci Bio 1995); le domande potevano essere poste anche come *paradoxa* o come *thaumasia*, come interrogativo su fenomeni strani, inaspettati o sorprendenti. Proclo accenna spesso a 'problemi meccanici' nell'ambito della sua preziosa testimonianza relativa alla contrapposizione tra problemi fisici e problemi geometrici (vd. *infra*); si può ritenere che la struttura per problemi sia stata l'impostazione originaria della trattazione geometrica della meccanica (vd. Micheli 1995, p. 40). Una raccolta di problemi tecnici fu forse l'opera attribuita a Democrito, di cui abbiamo solo il titolo (*Chernika* [?], *Problemata*, Democrito 68 B 299 h, II p. 210 D.-K.), vd. Krafft in Micheli 1995, p. 39, n. 9. Ricordo inoltre che nella seconda metà del V secolo l'interesse prevalente della geometria greca furono proprio i problemi: più generalmente, lo stu-

dio di una disciplina poteva essere affrontato per 'problemi' (vd. Platone, *Repubblica* VII 530 b).

La testimonianza più cospicua di una produzione così articolata è rappresentata dalla raccolta conservata dei *Problemi* che fanno parte del C. A. (in gran parte perduti sono invece i *Problemi omerici* di Aristotele, dedicati all'esposizione di questioni filologiche, all'interpretazione di passi e alla soluzione delle aporie). Oltre alle raccolte di 'problemi' e di 'questioni' che ci sono pervenute, altre opere, pur di carattere diverso, contengono al loro interno sezioni dedicate a *problemata* o *aporemata* e *lyseis* riguardanti qualche specifico argomento. La produzione strutturata per domande e risposte sembra sempre di più imporsi dall'Ellenismo in poi, per finalità pratiche e divulgative. Nelle raccolte dossografiche (cui Aristotele preparò la via), le *doxai* sono presentate spesso come risposta a domande del tipo *ti esti*, *dia ti*, *pothen*, *pos*, *posos*, *ei*, con cui si definisce una cosa, si spiegano le differenze, la causa e l'origine, il come avvenga un processo, si riassumono le discussioni. Sull'uso, sulla funzione euristica e sull'evoluzione di questa struttura nell'antichità e in epoca moderna, vd. la mia introduzione ai *Problemi* (2002).

Chiedersi il perché di tutto ciò che si osserva, anche di ciò che appare semplice e ovvio, dimostrare anche ciò che potrebbe essere sufficientemente evidente di per sé (si pensi per esempio alle dimostrazioni nella geometria di Euclide), indagare le cause di ogni cosa, ricondurre tutto all'onnicomprensiva verità del *logos*, del ragionamento corretto, è una prerogativa della civiltà greca. Questo atteggiamento appare certo molto semplificato nei *Problemi*, dove lo schema della domanda e della risposta diventa anche un comodo espediente per presentare il sapere, la ricerca e i suoi risultati, in forma manualistica ed enciclopedica, e ancora di più nella *Meccanica*, che restringe l'ambito di indagine; tuttavia la scelta di questo schema è significativa e indicativa di una tendenza e di un'impostazione più generale, incentrata sulle cause, e di un orientamento che potremmo definire pragmatico: la spiegazione scientifica è intesa appunto come risposta a una domanda, ed è condotta empiricamente. Ancora, lo schema riflette molto da vicino l'attività della scuola, e contribuisce a dare all'opera il carattere di compilazione che nasce al suo interno, e che si presenta come il frutto di discussioni, anche se non sempre possiamo coglierne il vivo riflesso, mancando una cornice, una ambientazione, una strutturazione dialogica[1].

Le liste antiche elencano quest'opera tra quelle di Aristotele[2], e la tradizione manoscritta la conserva come tale[3].

In epoca moderna si è invece cominciato a dubitare della paternità aristotelica: la questione ha a lungo dominato negli studi dedicati a questo trattato, come è accaduto per altre opere minori del *C. A.*[4]

Nel Cinquecento, la questione è brevemente posta da Gerolamo Cardano e da Francesco Patrizi[5]; le loro valutazioni nei confronti dell'attribuzione ad Aristotele vengono commentate dall'editore Henri de Monantheuil[6], che dichiara di considerare autentico il trattato, almeno fino a che qualcuno non possa provare il contrario, con maggiore autorità e con argomenti più precisi. Giulio Pace, nell'*Epistola* al lettore, premessa alla sua edizione del 1597, ripartendo le opere del *C. A.* secondo l'argomento, include nella terza 'classe' «duo libri mathematici: 1 De lineis insecabilibus. 2 Quaestiones mechanicae»; nella settima e ultima classe, elenca invece i trattati ritenuti spuri[7].

Giudizi e pareri contrastanti, sia sullo stile sia sul contenuto, vengono espressi anche nell'Ottocento, da filologi, filosofi e storici della scienza: nella seconda metà del secolo, ebbe molta influenza l'argomentazione di Valentin Rose che si espresse decisamente contro l'autenticità[8]; così anche Alfred Gercke, alla fine del secolo[9]. Nel Novecento, l'attenzione si concentra sul lessico; due studiosi autorevoli come Johan Ludvig Heiberg e Thomas Heath individuano incoerenze nell'uso dei termini, concordanze e divergenze con la terminologia di Euclide. Si esclude così che la *Meccanica* possa essere di Aristotele; essa sarebbe stata scritta tuttavia in un periodo molto prossimo alla sua attività, in ogni caso prima che, con Euclide, la terminologia tecnica raggiungesse un maggiore grado di uniformità e di coerenza[10].

Il rinnovato interesse per questo trattato, che ha avuto un ruolo molto importante nello sviluppo della scienza antica e moderna, ha indotto oggi a focalizzare l'attenzione sui contenuti, e a riproporre la paternità aristotelica. Fritz Krafft conduce una particolareggiata analisi dei punti più controversi e afferma l'autenticità del trattato[11]. Più recentemente Krafft, incline a vedere la *Meccanica* di Aristotele e *Le Mecaniche* di

Galilei come due momenti significativi della concezione antica e moderna della meccanica, le confronta anche sulla base di un intento didattico dei due autori: «Le due concezioni sono fra loro comparabili anche perché entrambe rinviano agli scritti didattici dei loro fondatori, sono connotate dallo stesso termine "meccanica", e concernono la stessa cosa anche se, naturalmente, non allo steso modo. La prima in forma di "lezione di meccanica" annunciata da Aristotele nella sua scuola, il Liceo o Peripato, all'incirca all'inizio della seconda metà del IV secolo a. C. [...] la seconda è quella di Galilei, che la espresse anche lui in un ciclo di lezioni tenuto a Padova»[12]. Dopo il suo studio (1970), tra coloro che hanno considerato autentico il trattato, si segnala Helmuth Schneider, che sposta tuttavia in avanti la datazione, rispetto a quella proposta da Krafft, ritenendolo uno scritto tardo di Aristotele[13]. Maria Elisabetta Bottecchia Dehò, l'ultimo editore della *Meccanica* in ordine di tempo, conclude la sua attenta esposizione delle diverse opinioni, nella convinzione che non sia «difficile rimuovere i giudizi di non autenticità. Si rimuovono così gli ostacoli ad esprimere per i *Mechanica* – come sembra derivare dalle tesi meglio argomentate – ipotesi di opera genuina, nel senso però di opera nata ed elaborata nella scuola»[14].

I motivi addotti per escludere la paternità aristotelica dei trattati cosiddetti minori del *C. A.* sono in genere sempre gli stessi: stile poco curato, andamento compilatorio e scarsamente argomentativo; alcune discordanze con le dottrine aristoteliche, o divergenze ritenute molto significative, eccessive semplificazioni, errori o ingenuità; abbondanza di particolari e di osservazioni che non approdano a una sintesi, di opinioni non sostenute da un impianto teorico, e di fenomeni non compiutamente indagati secondo il complesso rapporto di causa ed effetto, o semplicemente riferiti a cause immediate. Nel caso della *Meccanica*, chi ne ha negato l'autenticità, in epoca più vicina a noi, ha sottolineato una caratteristica del trattato che più di ogni altra dimostrerebbe l'impostazione di un autore diverso da Aristotele: l'interesse quasi esclusivo per l'applicazione e per gli aspetti pratici dell'indagine; si è così ritenuto che l'autore di questo trattato possa essere Stratone.

Diogene Laerzio informa che anche Stratone compose uno scritto di *Meccanica* (*Vite dei filosofi* V 59; vd. frr. 18; 69 W.).

L'attribuzione a Stratone di Lampsaco (vd. Gercke 1895, col. 1044), che compose un'opera sul *Moto* oggi perduta (vd. in particolare i frr. 70-74 W.), viene ritenuta probabile da Marshall Clagett (1981, p. 205), che trae dalle citazioni che ne fa Simplicio, nel suo *Commento alla Fisica* di Aristotele, queste conclusioni: «La prima trattazione esplicitamente cinematica della velocità pare sia stata quella di Stratone [...] La sua esposizione del problema dell'accelerazione apparve in un trattato *Sul moto*, andato perduto [...]. Stratone aveva sostenuto che un corpo in caduta libera, se si muove di moto accelerato, "compie l'ultima parte della sua traiettoria (τὴν ἐσχάτην τοῦ τόπου) nel tempo più breve". Stratone aggiungeva poi, secondo Simplicio, che "ciò è chiaramente quanto accade nel caso di corpi che si muovono nell'aria sotto l'influenza del loro peso. Poiché se si osserva un filo d'acqua che cade da un tetto, scendendo da un'altezza considerevole, il flusso nella parte superiore si vede continuo, mentre nella parte bassa l'acqua cade a terra spezzata in gocce. Ciò non accadrebbe se l'acqua non attraversasse ogni spazio successivo (τὸν ὕστερον τόπον) con maggiore velocità (θᾶττον)" [...] definendo il più veloce Aristotele pensava al confronto di due moti, mentre Stratone applicò questo tipo di comparazione alle parti di un singolo moto continuo non uniforme. In sintesi, la definizione di moto accelerato implicita nella formulazione di Stratone è quella di un "moto tale che spazi uguali vengono percorsi in periodi successivi di minor durata, ossia con velocità sempre maggiore". Alessandro di Afrodisia deve aver avuto una nozione simile dell'accelerazione» (p. 286 s.; cfr. p. 578 ss.). Sembra eccessivo attribuire a Stratone una «definizione di moto accelerato»; è anche possibile che nell'opera di Stratone queste osservazioni e questi esperimenti avessero un significato diverso, in collegamento con la sua teoria del vuoto (vd. il commento di Wehrli 1969, p. 63).

Dal frammento (73 W.) si deduce in ogni caso una nozione di ciò che oggi chiameremmo 'accelerazione', fondendo esperienza comune e esperimento. Alla descrizione di quello che succede, se si osserva dell'acqua cadere da un tetto (in alto il flusso sembra continuo, ma l'acqua raggiunge la terra in parti discontinue), seguono un altro esempio e un'altra prova: se si lascia cadere una pietra o qualunque altro peso da una piccola altezza, l'impatto col terreno sarà appena percepibile, se invece si lascia cadere lo stesso oggetto da un'altezza maggiore, l'impatto col terreno sarà violento (fr. 73, p. 26, 15 ss. W.). Anche in questo caso, si può dire che Stratone si limita a constatare l'aumento di velocità, senza tentare, come sembra, di quantificare i risultati dell'esperimento. Il frammento è tuttavia di grande interesse nella lunga storia della riflessione greca sulla caduta libera dei corpi, da Aristotele a Giovanni Filopono e oltre.

L'attribuzione della *Meccanica* a Stratone resta un'ipotesi, e non può essere sostenuta con sicurezza. La sua teoria del vuoto era in ogni caso destinata a influire sulla pneumatica: è difficile stabilire quanto questa parte della meccanica, che si sviluppò a partire dall'Ellenismo, debba alle teorie di Stratone o all'abilità tecnica di Ctesibio; inoltre, è una questione dibattuta se la teoria del vuoto così come esposta da Erone nell'introduzione agli *Pneumatica* sia basata su Stratone, vd. Gottschalk 1965, p. 104 ss.; Giannantoni 1984, p. 52; Ferrari 1992, p. 170; Tybjerg 2005, p. 213.

Il problema dell'attribuzione si inquadra in quello più generale della vasta produzione aristotelica e della sua trasmissione; bisogna inoltre tener conto dell'attività di scuola e di ricerca all'interno del Peripato, nel cui ambito, la collaborazione tra Aristotele e i suoi allievi, o tra i suoi allievi, la redazione di materiale di varia provenienza, raccolto e discusso, o elaborato anche nella forma di appunti per le lezioni o delle lezioni, o di manuale, costituiscono una nota possibilità; altrettanto noto è il prevalere di una ricerca eminentemente empirica della scuola peripatetica dopo Aristotele.

Ogni opera del *C. A.* ha aspetti peculiari e caratteristiche emergenti, che la collegano ad ambiti diversi di ricerca; anche il grado di elaborazione formale non è sempre lo stesso, perfino all'interno delle opere considerate autentiche, o di una stessa opera. I temi oggetto di indagine nei cosiddetti trattati minori del *C. A.* sono diversi, ma dimostrano tutti un precipuo interesse per argomenti circoscritti legati a esperienze percettive, alla ricerca su cose e fenomeni così come accadono nella vita quotidiana e come l'uomo può osservarli, e anche verificarli e sperimentarli, nella costante interazione tra situazione fenomenica e cause fisiche. Nella loro struttura si riconosce anche l'inclinazione a presentare la ricerca nell'immediatezza del suo farsi o del suo proporsi, soprattutto quando si procede con domande e risposte, come nella *Meccanica* e nei *Problemi*; la teoria si trova così fusa nell'indagine sulle cause.

Il prevalente atteggiamento pratico, il dominante empirismo, l'emergente materialismo che accomunano i trattati minori hanno portato di volta in volta a pensare ad autori (Teofrasto o Stratone, in particolare) che all'interno del Peripato

rappresentano meglio queste tendenze, e la rapida evoluzione della scuola dopo Aristotele. L'impostazione e il metodo di indagine costituiscono certamente un argomento più probante, nella discussione relativa all'autenticità di un'opera, rispetto alla scelta del tema.

L'ampiezza della ricerca avviata da Aristotele fa sì che i vari temi dei trattati minori possano essere visti come sviluppi di indagini aristoteliche. I *Colori* riprendono questioni poste nella *Meteorologia*, e nei trattati sull'*Anima* e sulla *Percezione*, contenenti anche l'analisi della produzione e delle caratteristiche della voce e del suono, che è al centro del trattato sui *Suoni* [15]. La *Fisiognomica* mostra un interesse per il segno e per il carattere, che rinvia agli *Analitici primi* e alle opere zoologiche[16]; i *Problemi* riassumono meglio di ogni altra opera del *C. A.* la vastità dell'indagine che tocca questioni di medicina, biologia, fisica, meteorologia, botanica, matematica e astronomia, ottica, acustica e musica, retorica e oratoria, etica e giustizia; *doxai* di varia provenienza e curiosità naturali caratterizzano anche l'eterogeneo trattato sui *mirabilia*[17]. Il trattato sulle *Linee indivisibili* è stato considerato in relazione con un passo della *Metafisica* [18].

Anche la *Meccanica*, pur nella specificità del suo argomento, può essere messa in rapporto con altre opere autentiche: l'analisi del movimento condotta nella *Fisica* (nel libro ottavo, in particolare), nei trattati sul *Cielo*[19], sul *Moto degli animali* e sulla *Locomozione degli animali* sembra costituire un punto di riferimento per l'autore[20]. Si è d'altra parte osservato che un così ampio ricorso alle leggi matematiche come quello che si fa nella *Meccanica* non trova riscontro in altre opere aristoteliche[21]; in realtà, non vengono formulate 'leggi' precise: vengono solo esposti o accennati dei principi; l'autore dà al proprio discorso un'impostazione o geometrica o fisica, con un interessante sovrapporsi dei due piani che si alternano o si integrano, a seconda delle questioni e con oscillazioni anche all'interno di una stessa argomentazione.

La questione dell'autenticità di quest'opera e l'individuazione di un autore preciso rimangono aperte, almeno fino a che non emerga qualche elemento nuovo. Le diverse tesi si sono contrapposte e puntualmente contraddette: i risultati

emersi non sono incontrovertibili, pur se la discussione ha avuto il merito di approfondire alcuni aspetti. L'argomento che sembra più promettente resta l'analisi del lessico, e in particolare della terminologia geometrica, anche se la limitata conoscenza delle fonti, prima di Euclide, non permette sicure conclusioni, neanche in questo caso[22]. La questione appare meno pressante e decisiva, per la comprensione del trattato, se si considera che esso può essere riferito all'attività del primo Peripato, in base alle sue caratteristiche e a quelle dei trattati minori del *C. A.*[23] che possono essere confrontati per stile e impostazione.

Il cerchio e le sue 'meraviglie' Contenuti e principi della *Meccanica*

L'esordio

Il verbo con cui si inizia il trattato pone in rilievo l'atteggiamento curioso e attento di chi è intellettualmente coinvolto dai fenomeni che osserva, su cui si interroga e su cui è sollecitato a indagare. Questo atteggiamento costituisce una caratteristica peculiare della ricerca dei Greci, che hanno considerato il 'meravigliarsi' il primo efficace impulso per avanzare nella conoscenza.

Subito dopo, con la ripartizione tra eventi che accadono *kata physin* e *para physin*, secondo un metodo di indagine ben consolidato[24], si presenta l'opposizione che sarà ricorrente e avrà un valore argomentativo anche in seguito. Nell'ambito dei fenomeni così ripartiti, in modo molto significativo per l'impostazione del trattato, si procede a un'altra suddivisione. Da una parte, l'ignoranza di ciò che determina i fenomeni naturali spinge a ricercarne la causa (a questa nozione è strettamente legata la libera ricerca dei Greci: esiste un collegamento inscindibile, logico e razionale tra causa ed effetto, che spetta all'uomo 'scoprire', e che riguarda ogni realtà e ogni livello di ricerca, in quanto gli eventi sono parte di una regolarità); dall'altra, la correlazione tra fenomeni che accadono *pa-*

ra physin e che sono dovuti alla *techne*, a beneficio dell'uomo, specifica l'oggetto del trattato.

L'*incipit* ha una struttura retorica, un impianto sofistico, un carattere programmatico, e introduce il lettore nel contesto argomentativo. L'autore delimita subito il tema di indagine, ma attraverso la dicotomia proposta e il riferimento alla nozione di causa tenta anche di stabilire un rapporto con una ricerca di più ampio respiro, come si vede bene anche dalle considerazioni che seguono (l. 24 ss.) e dall'esposizione che sarà adottata più avanti (850 a 3). L'evidenza data alla nozione di 'meraviglia' e di causa sembra richiamare, seppur vagamente, l'argomentazione iniziale della *Metafisica* [25].

La meraviglia come fonte di speculazione appartiene ai luoghi comuni, come l'opposizione 'secondo natura'/ 'contro natura', 'naturale'/ 'artificiale', e, poco dopo, la nozione di scienza subordinata. La meraviglia può essere suscitata da tutto ciò che richiede un'indagine sulle cause per essere capito: sia il mondo naturale sia il mondo artificiale possono pertanto catturare l'interesse, senza distinzione, anche se nella *Meccanica* l'accento è posto sui fenomeni della *techne*. Significativo è in questo senso un passo introduttivo delle *Parti degli animali*: «Perfino circa quegli esseri che non presentano attrattive sensibili, al livello dell'osservazione scientifica, la natura che li ha foggiati offre grandissime gioie a chi sappia comprenderne le cause, cioè sia autenticamente filosofo. Sarebbe del resto illogico e assurdo, dal momento che ci rallegriamo osservando le loro immagini poiché al tempo stesso vi riconosciamo l'arte che le ha foggiate, la pittura o la scultura, se non amassimo ancor di più l'osservazione degli esseri stessi così come sono costituiti per natura, almeno quando siamo in grado di coglierne le cause. Non si deve dunque nutrire un infantile disgusto verso lo studio dei viventi più umili: in tutte le realtà naturali v'è qualcosa di meraviglioso – ἐν πᾶσι γὰρ τοῖς φυσικοῖς ἔνεστί τι θαυμαστόν» (I 5, 645 a 7-17; cfr. *Poetica* 4, 1448 b 9 ss.; *Retorica* I 11, 1371 b 4 ss.).

Più generalmente, nell'antichità, il *thaumaston* e l'*ekplekton* (vd. Erone, *Automi*, I 1; 7-8, pp. 338, 3-5; 342, 2-4 Schmidt) sono connessi con gli *automata*, con la costruzione dei teatrini automatici, con i congegni meccanici nascosti. Proclo fa rientrare la costruzione di automi in una parte della meccanica chiamata 'taumatopoietica' (*Commento al I libro degli Elementi di Euclide*, Prologo I, p. 41, 8 Friedlein). *Mechane* e *thauma* sono due concetti strettamente connessi: far apparire degli effetti stupefacenti e nello stesso tempo nascondere il meccanismo che li produce sono obiettivi perseguiti nella costruzione di *auto-*

mata. Nella descrizione degli apparecchi pneumatici antichi si distinguono due momenti: lo stupore e l'ammirazione di chi guarda, e la consapevolezza di ciò che accade, da parte di chi comprende i principi di funzionamento.

Agli *automata*, Aristotele guardò anche come possibili modelli interpretativi della locomozione animale e della generazione dei viventi. All'inizio della *Metafisica*, sono ricordati come esempi di ciò che suscita meraviglia gli *automata*, le *tropai* del sole, l'*asymmetria*, l'incommensurabilità, della diagonale e del lato del quadrato. La meraviglia è un primo stadio che la conoscenza delle cause permette di superare: «bisogna pervenire allo stato di animo contrario [...] così avviene, per restare agli esempi fatti, una volta che si sia imparato: di nulla un geometra si meraviglierebbe di più che se la diagonale fosse commensurabile al lato» (A 2, 983 a 18-21; cfr. ll. 12-17). Il collegamento che Aristotele stabilisce tra il funzionamento degli *automata* e i fenomeni o i processi naturali si inquadra nella più ampia problematica del rapporto tra *techne* e *physis*, adombrata anche all'inizio della *Meccanica*: gli *automata* potevano apparire come la realizzazione estrema della diffusa opinione secondo cui la tecnica imita la natura.

Nei commenti del XVI secolo alla *Meccanica* acquistano rilievo e sono ampiamente sviluppati proprio i motivi suggeriti nel prologo: l'opposizione proposta, la meraviglia che la natura e l'arte suscitano, il modo in cui si può dire che l'arte imita la natura.

Dell'effetto 'miracoloso' delle macchine, cui Galileo accenna nella versione breve delle sue *Mecaniche* (vd. il passo citato all'inizio), forse proprio in ossequio a una tradizione, non si parla più nella versione lunga. Niente può accadere di contrario alla natura: se si vogliono tentare «operazioni, di sua natura impossibili» col ricorso alle macchine si resta ingannati. «Dei quali inganni parmi di avere compreso essere principalmente cagione la credenza, che i detti artefici hanno avuta ed hanno continuamente, di potere con poca forza muovere ed alzare grandissimi pesi, ingannando, in un certo modo, con le loro macchine la natura; instinto della quale, anzi fermissima constituzione, è che niuna resistenza possa essere superata da forza, che di quella non sia più potente. La quale credenza quanto sia falsa, spero con le dimostrazioni vere e necessarie, che averemo nel progresso, di fare manifestissimo» (p. 45, ll. 8 s.; 12-19 Gatto).

Per una riflessione sul luogo comune secondo cui il primo stimolo alla ricerca sarebbe un senso di meraviglia, a metà tra lo stupore e il timore, e per il rapporto tra il modo di esprimersi della poesia e della scienza, vd. Giorello/ Moriggi 2007, p. 33 ss.

Negli esordi dei trattati minori, il tema oggetto di indagine è subito ben evidente; contemporaneamente, si nota anche la

preoccupazione di dare al lettore indicazioni che lo guidino a collegare il tema specifico con concetti e argomenti più generali e vasti, ma senza rinvii a precedenti trattazioni, che si leggono invece in alcuni esordi degli scritti sicuramente autentici di Aristotele[26]. Nei *Colori*, si stabilisce un collegamento tra l'indagine specifica sugli *hapla chromata* e le acquisizioni relative agli elementi[27]. Nei *Suoni*, la produzione di voci, rumori e suoni è collegata con la nozione di 'impatto, urto, colpo' che rimanda implicitamente alle più generali teorie della percezione[28]. Nella *Fisiognomica*, la relazione tra anima e corpo, ampiamente indagata nella riflessione filosofica precedente, è brevemente illustrata in apertura del trattato, e posta con decisione a suo fondamento, così da poter validamente giustificare ciò che ci si propone di fare, cioè 'giudicare dall'aspetto'[29].

Il richiamo all'utilità (*to sympheron*, *to chresimon*) costituisce un altro momento caratterizzante dell'esordio, e permette di cogliere immediatamente l'evoluzione di una ricerca che, pur se ancorata al passato per i principi che la sostengono, accoglie nuove sollecitazioni e si volge verso ambiti più vicini all'esperienza dell'uomo: la meraviglia e il coinvolgimento nella scoperta non sono qui 'anche indipendenti' dall'utilità che se ne trae[30], ma sono in stretta corrispondenza con essa. Se si pensa all'esaltazione della ricerca e della conoscenza come valide di per sé, senza altri fini, o alla celebrazione del modo di operare della *physis*, 'saggio' ed accorto, in molti passi delle opere aristoteliche, le affermazioni iniziali dell'autore possono sorprendere: come si è già detto, l'interesse dell'autore per gli aspetti utili e pratici dell'indagine ha condotto molti studiosi a ritenere che il trattato non possa essere ascritto ad Aristotele.

L'accento posto sull'utilità non determina in realtà un ribaltamento di posizioni, ma solo uno spostamento di prospettiva (o anche un restringimento, una focalizzazione), che si spiega con il nuovo statuto delle *technai*, ormai consolidato, e con il tradizionale collegamento tra progresso della *techne* e sviluppo dell'umanità, vantaggi per l'uomo. Con la vastità dei suoi interessi, e con la vivacità intellettuale e la varia attività dei suoi rappresentanti, il Peripato costituisce certamente un anello di congiunzione tra due culture, quella classica e quella ellenistica: la *Meccanica* è tra le opere del *C. A.* quella che an-

ticipa più e meglio di altre (stando alla produzione che ci è pervenuta) la straordinaria fioritura della scienza sia teorica sia applicata, nell'Ellenismo. Se questo trattato permette di cogliere l'avvio di un nuovo e promettente orientamento della ricerca, è innegabile d'altra parte che gli aspetti puramente pratici sono solo un punto di partenza, non di arrivo, e che la ricerca non è finalizzata né all'applicazione di principi teorici individuati, né alla costruzione di macchine specifiche. Lo spirito che lo anima è ancora quello meramente speculativo che aveva caratterizzato la ricerca precedente, e che resta in fondo quello tipico della ricerca in Grecia: neanche la scienza ellenistica si spoglia completamente di quella dimensione anche 'ludica' più propria di un'indagine non (o non solo) asservita a scopi pratici e di dominio sulla natura.

Tenendo conto di tutto lo sviluppo argomentativo della *Meccanica*, la relazione stabilita dall'autore fra la *techne* e l'utile si può intendere anche come implicito riferimento alla loro connessione nei vari miti del 'progresso', pur se resta molto significativa in vista di futuri sviluppi della scienza.

Il prologo contiene pertanto un elogio, un'amplificazione dell'importanza dell'argomento, che si basa proprio sul valore del sapere tecnico, affiancato a un sapere speculativo più alto, pur se di scorcio e nella consapevolezza di ambiti distinti (ll. 24-28); l'efficace utilizzazione di coppie di contrari (ll. 1 s.; 20 s.; 21 s.), che sottolinea forti contrasti e risultati inattesi, e la citazione (ll. 19-21) contribuiscono al tono enfatico dell'esposizione: l'inaspettato (ll. 21-23) e la meraviglia, che ne scaturisce, saranno continuamente al centro della presentazione dei problemi e delle domande.

Il rilievo dato alle possibilità offerte dalla *techne* e al valore del sapere richiama altri esordi di opere aristoteliche[31], dal cui confronto emergono il restringimento e la limitazione del campo di indagine e degli obiettivi nella *Meccanica*; il concetto stesso di 'utilità', che si impone rispetto alla validità della conoscenza di per sé, è circoscritto a ciò che rappresenta un vantaggio pratico e immediato, ottenibile con l'uso di 'strumenti' della *techne*, concepiti come soccorso nelle difficoltà. Nonostante la diversità che risulta netta, tenendo conto so-

prattutto dell'argomentazione che segue, l'esordio evoca alcuni dei grandi temi discussi da Aristotele (in continuità o in polemica con la riflessione precedente): il rapporto tra *physis* e *techne*; i fini, gli oggetti, i metodi della scienza. L'autore si mostra pertanto consapevole della problematica più vasta in cui si situa la propria indagine, ma la abbandona subito per passare alla trattazione specifica sulla leva (847 a 28 ss.).

'Agire violando la natura' (l. 16 s.) ha di per sé un ampio significato: molti sono gli ambiti (etico, politico, tecnico in senso lato) in cui l'uomo può fare o comportarsi così. L'autore non dice in che cosa consista questa 'azione', ma chiarisce dopo, con un esempio, quali siano gli effetti del ricorso alla *techne* (ll. 19-22): ambito dell'azione e capacità della *techne* si sovrappongono; ancora, la *mechane* si configura come un tipo particolare di *techne* (l. 18 s.). Questo 'realizzare', questa azione implica non tanto, o non solo la 'produzione', la costruzione di un oggetto, ma include un calcolo, un accorto e sagace intervento in vista del superamento di una difficoltà contingente, legata alle comuni esigenze pratiche, al lavoro: essa è implicitamente il frutto di un'intelligenza pratica, di una *metis*[32]. Il risultato è un rovesciamento di ciò che è atteso e prevedibile: la *techne* appare come un principio di mutamento[33], e la *mechane* come una sua applicazione.

L'esigenza di differenziare ma anche di collegare ambiti disciplinari diversi è tipicamente aristotelica[34]; non di rado essa si manifesta proprio all'inizio della trattazione, quando si presenta l'argomento e si guida il lettore a coglierne subito la complessità. In alcune opere questa esigenza di connessione e di classificazione comporta il ricorso a un riepilogo di quanto esposto in altri scritti, teso a dare un quadro coerente e sistematico della ricerca[35]. Più interessanti, per un confronto con la *Meccanica*, sono le parti introduttive in cui si discute invece della possibilità di esaminare lo stesso argomento da altri punti di vista, o si richiamano oggetti e metodi di alcune scienze[36].

L'intento dell'autore è di inserire la *mechane* in un sapere più ampio e ben consolidato, per affermarne la validità e l'im-

portanza; come si è detto, altrettanto fa l'autore (o gli autori) della *Fisiognomica*, che si propone di dare alla propria disciplina lo statuto di *techne*, cioè di un sapere specializzato sostenuto da ragionamento, fondato su regole generali e su conoscenze teoriche, sulle condizioni che permettono l'esistenza di una scienza, sulla ricerca di distinzioni, di analogie e di cause[37]. L'accenno agli elementi 'comuni' (l. 26) alla matematica e alla fisica si comprende bene inoltre tenendo conto della necessità, considerata anche da Aristotele, di impostare talora la ricerca individuando ciò che è comune e ciò che è specifico, in alcuni ambiti[38]; questo argomento rientra nel più generale problema della classificazione delle scienze.

Il riferimento ad altri ambiti disciplinari ha tuttavia anche altre funzioni. La definizione stessa di *problemata mechanika* (l. 23 s.) colloca l'opera in un genere e ne anticipa il criterio di esposizione per domande e risposte; allo stesso modo, il parallelismo stabilito con i *physika problemata* (l. 24 s.)[39] e con i *mathematika theoremata* (l. 26) anticipa la varietà del contenuto, non limitato, come si vedrà, al funzionamento delle macchine, e costituisce un'implicita dichiarazione di metodo.

Di particolare interesse appare l'uso dei termini *problema* e *theorema*: il primo è qualificato dagli aggettivi *mechanikon* e *physikon*; il secondo da *mathematikon* e da *physikon*. Entrambi possono essere utilizzati in senso generale e in senso specifico; qui il loro uso è tecnico. Nei *Topici*, Aristotele distingue tra *problemata ethika*, *physika* e *logika*[40]; il nesso *mathematika theoremata* si legge invece nella *Metafisica*, in un contesto di valutazione di teorie riguardanti gli enti matematici[41]. Nella *Meccanica*, l'uso di *theorema* è particolarmente significativo, dato che questo termine rinvia alla pratica dimostrativa dei geometri.

Si può osservare preliminarmente e genericamente che, in senso tecnico, l'uso di *problema* appare in Aristotele per lo più ricorrente nei contesti di logica; significativa è tuttavia la sua estensione all'ambito esegetico e alle scienze naturali.

Problema si dice, nella geometria, di un testo «qui propose la construction d'une figure», Mugler 1958, p. 357. Cfr. Platone, *Repubblica* VII 530 b; 531 c. Pappo proporrà la distinzione di tre tipi di problemi

in geometria (III 20, I p. 54; IV 57, I p. 270 Hultsch). Proclo dirà che gli assiomi si distinguono dai postulati, come i teoremi dai problemi, nel *Commento al I libro degli Elementi di Euclide* (p. 178, 12 ss. Friedlein, cfr. p. 77, 7 ss.; vi sono contenuti anche riferimenti alle diverse posizioni di autori e scuole su questo tema, tra cui anche la testimonianza relativa agli allievi di Posidonio, cfr. fr. A253 Vimercati). Nella seconda parte del Prologo, Proclo definisce l'essere, l'oggetto e il metodo della geometria, che distingue dall'aritmetica, e discute a lungo la divisione tra problemi e teoremi, accennando anche alla posizione di alcune scuole su questo argomento: «Da queste considerazioni risulta chiaramente che c'è una differenza tra problema e teorema; che poi il libro degli *Elementi* di Euclide contiene tanto problemi che teoremi, apparirà chiaro da ciascuna proposizione e dal fatto che egli aggiunge, alla fine di ciascuna dimostrazione, ora "ciò che bisognava fare", ora "ciò che bisognava dimostrare", come caratteristica dei teoremi; sebbene, come si è detto, c'è dimostrazione anche nei problemi; ma tuttavia c'è o quando la dimostrazione è a vantaggio della costruzione – aggiungiamo infatti la dimostrazione per dimostrare che la cosa proposta è stata eseguita – o quando essa è degna di studio per se stessa, essendo capace di mettere in evidenza la natura della cosa cercata. Si troverebbe del resto che Euclide a volte intreccia i teoremi ai problemi e se ne serve alternativamente, come nel primo libro, o talvolta eccedendo, sia degli uni, sia degli altri. Così il quarto libro è interamente composto di problemi, il quinto invece di teoremi» (p. 81, 5-22 Friedlein). Più avanti, cita l'opinione di Carpo il meccanico (autore di un *Trattato di astronomia* andato perduto): «il genere dei problemi precede quello dei teoremi, perché mediante i problemi si scoprono i soggetti dei quali si cercano le proprietà; e dice che l'enunciato del problema è semplice, e non richiede una comprensione del tutto esperta [...] ma l'enunciato del teorema è laborioso e richiede molta esattezza e acume scientifico, perché non appaia ridondante né mancante di un fondamento di vero, come appunto è il primo dei teoremi» (pp. 241, 18-242, 13 Friedlein). La differenza tra problemi e teoremi supera l'ambito più strettamente tecnico, diventando espressione di una tensione e di un orientamento diverso della ricerca: «Forse i problemi vengono nell'ordine prima dei teoremi anche soprattutto per quei problemi che s'innalzano alla contemplazione scientifica provenendo dalle arti che riguardano le cose sensibili. Ma i teoremi sopravanzano i problemi in dignità. E può sembrare che tutta la geometria, in quanto è collegata a molte arti, operi per via di problemi; ma in quanto essa confina con la scienza prima, s'innalza per via di teoremi dai problemi ai teoremi, dalle cose seconde alle prime, e dalle cose più affini alle arti, a quelle più attinenti alla scienza. È vano dunque accusare Gemino d'aver detto che il teorema è più perfetto del problema; perché Carpo dà la prece-

denza ai problemi dal punto di vista del grado, mentre Gemino la dà ai teoremi per il valore più perfetto» (p. 243, 12-25 Friedlein).

Le proposizioni della geometria erano chiamate teoremi in quanto vertevano su oggetti eterni, di cui non c'è genesi; la nozione di problema riguardava invece genesi e produzione di oggetti che prima non esistevano (vd. Cambiano 1992, p. 93). «Le testimonianze sulla prima geometria greca sino alla fine del V secolo a. C. ci confermano che essa fu in gran parte una geometria di problemi più che di teoremi: costruire enti geometrici, trovare relazioni tra essi e così via. La stessa distinzione fra teoremi e problemi sarebbe emersa probabilmente solo nel IV secolo a. C., generando un dibattito all'interno dell'Accademia platonica tra Speusippo e Menecmo sulla denominazione da attribuire alle proposizioni geometriche: mentre il nome “problema” tendeva a sottolineare il loro carattere costruttivo, il nome “teorema” metteva in primo piano la dimensione non empirica di esse» (Cambiano 2006, p. 69).

Il termine μηχανικός in geometria può essere usato per designare: «1° les procédés et les raisonnements propres à la mécanique, c'est-à-dire aux théories d'Archimède sur l'équilibre»; «2° la propriété d'une courbe de n'être pas réalisable par les seuls moyens de la règle et du compas, mais d'exiger le recours à d'autres instruments», Mugler 1958, p. 294 s. Micheli osserva: «La trattazione ‘meccanica’ era di norma riservata a quei problemi geometrici non elementari, non risolubili con riga e compasso, come per esempio, il cosiddetto problema delico (la duplicazione del cubo, equivalente a trovare due medie proporzionali fra due segmenti dati) e per la costruzione di curve superiori, come la concoide, scoperta da Nicomede, un geometra del III-II secolo a. C.». L'autore si sofferma su questa distinzione, apparentemente sorprendente, tra costruzioni e soluzioni geometriche e meccaniche: «La contrapposizione, per i geometri greci, era tra un procedimento rigorosamente dimostrativo e un procedimento fondato sull'uso di strumenti materiali, come la riga scorrevole, o puramente concettuali (come la leva di cui si serve Archimede nel suo *Metodo*) che appariva solo empiricamente o impropriamente giustificato; è significativo che Archimede dica chiaramente che le soluzioni trovate per via meccanica andavano poi dimostrate per via geometrica. La contrapposizione attiene essenzialmente al fatto che la geometria con la limitazione dell'uso della riga e del compasso aveva assunto un assetto organico, completo e rigoroso, testimoniato dagli *Elementi* di Euclide; pertanto solo rette e cerchi, e le figure costruite su tali basi, apparivano dotate di vera esistenza geometrica, appunto perché fondate su presupposti semplici e chiaramente fissati nei postulati. Le figure costruite in altro modo erano dotate di una esistenza solo empirica». Micheli conclude che era «legitti-

mo per i geometri greci usare altri mezzi, tra cui i mezzi cosiddetti meccanici quando non era possibile risolvere determinati problemi con i mezzi normali, cioè con riga e compasso»; così il termine 'meccanico' può avere «il significato di procedimento speciale da usare per difficoltà altrimenti insuperabili» (1995, pp. 17-20).

Per Aristotele, come è noto, gli oggetti matematici non esistono nel modo in cui sostengono i Platonici; la possibilità che essi non esistano come realtà a sé stanti, ma solo come entità astratte, viene esaminata da Aristotele con un'ampia argomentazione, in cui si illustrano tra l'altro le considerazioni che possono fare un fisico e un matematico riguardo agli *aistheta*, che hanno caratteri e aspetti distinti, e che possono essere analizzati *in quanto* caratterizzati da movimento, oppure, a prescindere dal moto, solamente come corpi dotati di una certa dimensione, come grandezze o numeri, come quantità. In questo contesto, vengono definiti anche gli oggetti peculiari di altre scienze quali la geometria, l'armonica, l'ottica e la meccanica.

La questione riguardante il modo di essere degli oggetti matematici è posta e risolta nel libro tredicesimo della *Metafisica* (**M** 2, 1076 a 38-1077 b 17; 3, 1077 b 17-1078 b 6). Aristotele afferma «che gli enti matematici non sono sostanze in più alto grado dei corpi, e che, rispetto ai sensibili, non hanno una anteriorità nell'ordine della nozione e, infine, che non possono in alcun modo esistere separatamente. D'altra parte, poiché s'è visto che essi non possono neppure esistere come immanenti ai sensibili, è evidente o che essi non esistono affatto, oppure che esistono solo in un certo modo e che, pertanto, non esistono nel senso assoluto del termine» (1077 b 12-16). «Poiché si può dire in generale e con verità che non solo le cose separate esistono, ma che anche le cose non separate esistono (per esempio si può dire che i mobili esistono), così si potrà dire, in generale e con verità, anche che gli oggetti matematici esistono, e proprio con quei caratteri di cui parlano i matematici. E come si può dire, in generale e con verità, che anche le altre scienze riguardano non ciò che è accidente del loro oggetto [...], ma che riguardano l'oggetto che è peculiare a ciascuna di esse [...], così si dovrà dire anche per la geometria: anche se gli oggetti di cui tratta hanno per accidente la caratteristica di essere sensibili, essa non li considera, tuttavia, in quanto sensibili. Così le scienze matematiche non saranno scienze di cose sensibili, ma non saranno neppure scienze di altri oggetti separati dai sensibili. Molti attributi competono di per sé

alle cose, in quanto ciascuno di tali attributi inerisce ad esse: ci sono, per esempio, caratteristiche che sono peculiari all'animale in quanto femmina, oppure in quanto maschio, anche se non esiste una femmina o un maschio separato dall'animale. Pertanto, ci saranno, anche, caratteristiche peculiari alle cose considerate solamente in quanto lunghezze e in quanto superfici. E quanto più gli oggetti della nostra conoscenza sono anteriori nell'ordine della definizione e sono semplici, tanto più la conoscenza è esatta – ἔχει τὸ ἀκριβές: infatti, l'esattezza non è altro che semplicità. Di conseguenza, la scienza il cui oggetto prescinde dalla grandezza spaziale è più esatta di quella il cui oggetto include anche la grandezza spaziale; ed esatta in massimo grado è la scienza che astrae dal movimento. Invece fra le scienze che hanno come oggetto il movimento, è più esatta quella che ha come oggetto il movimento primo: il movimento primo, infatti, è quello più semplice, e, nell'ambito di questo, è per eccellenza primo quello uniforme. Il medesimo ragionamento fatto sopra varrà anche per l'armonica e per l'ottica – περὶ ἁρμονικῆς καὶ ὀπτικῆς. Infatti, né l'una né l'altra considerano il proprio oggetto in quanto vista o in quanto suono, ma lo considerano in quanto linee e in quanto numeri: questi, infatti, sono proprietà peculiari di quelle. E la stessa cosa dicasi anche per la meccanica – καὶ ἡ μηχανικὴ δὲ ὡσαύτως» (1077 b 31-1078 a 17).

In questo passo, vengono anche individuati dei criteri per la determinazione delle scienze 'esatte', cfr. A 2, 982 a 25-28 («Le più esatte – ἀκριβέσταται – fra le scienze sono soprattutto quelle che vertono intorno ai primi princìpi: infatti, le scienze che presuppongono un minor numero di princìpi sono più esatte di quelle che presuppongono, altresì, l'aggiunta di ulteriori princìpi, come ad esempio l'aritmetica rispetto alla geometria»); *Analitici secondi* I 27, 87 a 31-37; *Cielo* III 7, 306 a 27 s. (il riferimento è alle matematiche, come scienze esatte); *Etica Nicomachea* VI 7, 1141 a 16 ss. (in questo contesto, *akribestate* tra le scienze è la *sophia*; cfr. I 1, 1094 b 12 s.; 7, 1098 a 26-29; *Politica* VII 7, 1328 a 19-21).

Così Reale commenta la posizione di Aristotele: «Platone e molti Platonici avevano inteso i numeri e gli oggetti matematici in genere come *entità ideali separate dai sensibili*. Altri Platonici avevano cercato di mitigare questa ardua concezione, immanentizzando gli oggetti matematici nelle cose sensibili, mantenendo però ferma la convinzione che si trattasse di realtà intelligibili distinte dai sensibili. Aristotele confuta ambedue queste concezioni, giudicandole una più assurda dell'altra e quindi assolutamente inaccettabili. Che cosa sono, allora, i numeri e gli enti matematico-geometrici, se non sono enti intelligibili dotati di sussistenza propria? Ecco la soluzione aristotelica. Gli oggetti matematici non sono né entità reali, né, tanto meno, qualcosa di irreale. Essi sussistono potenzialmente nelle cose sensibili e la nostra ragione *li separa*

mediante l'astrazione. Essi sono, dunque, *enti di ragione* che in atto sussistono solo nella nostra mente in virtù della nostra capacità di astrazione (ossia che sussistono come 'separati' solo nella e per la mente) e in potenza sussistono nelle cose come loro proprietà [...] Gli oggetti della geometria e dell'aritmetica *hanno il loro fondamento nelle caratteristiche delle cose sensibili*, e [...] esistono come affezioni delle cose. Ma così come li considerano i geometri e i matematici *esistono solo per via di astrazione*» (1994, II pp. 482-484).

Aristotele non ebbe (si dice generalmente) un preminente interesse per le scienze matematiche, ma ebbe il merito di determinare lo statuto ontologico degli oggetti di cui esse si occupano. La matematizzazione dei fenomeni avviata dalla tradizione pitagorica e platonica (le scienze matematiche sono in Platone una via di accesso alla dialettica, ma in ogni caso inferiori a essa; considerando i diversi livelli di conoscenza – εἰκασία, πίστις, διάνοια, νόησις – agli enti matematici 'intermedi' corrisponde la διάνοια, che è appunto la conoscenza delle realtà matematico-geometriche) è stata di grande importanza per l'astronomia, la musica, l'ottica, per la statica e l'idrostatica di Archimede, per la meccanica di Erone. La tradizione aristotelica fa da mediazione tra il naturalismo presocratico e il platonismo; la priorità riconosciuta alla fisica rispetto alla matematica è espressione della ricerca, tipicamente aristotelica, di un'intelligibilità naturale, non matematico-ideale: in questa ricerca possono peraltro essere indagate le proprietà matematiche di oggetti fisici. Come si vedrà, nelle note di commento al testo, le scienze matematiche sono di supporto all'analisi del movimento, condotta da Aristotele: i principi enucleati in questo ambito rappresentano per Hankinson «a bold attempt to bring physical phenomena within the grip of generally mathematical ratios» (1999, p. 147). Per il ricorso alla matematica nelle opere di Aristotele, vd. in particolare, Heiberg 1904; Heath 1998; Sanguineti 1992, p. 32 ss.; Kullmann 1998, pp. 16 ss.; 81 ss.; Gräser 1987; Lang 2005, p. 80 ss.; Zhmud 2006, p. 20 ss. Vd. anche, per Archimede e Erone, Simms 2005, p. 164 ss.; Giardina 2003, pp. 96 ss.; 126 ss.; Tybjerg 2004, p. 29 ss. (si traccia un confronto tra i metodi di Archimede e di Erone, mettendo in evidenza l'uso anche dimostrativo, in quest'ultimo, degli strumenti meccanici).

Fisica e matematica sono due scienze spesso messe a confronto in Aristotele: entrambe costituiscono, insieme con la metafisica, il gruppo delle scienze teoretiche; la geometria è un ramo della matematica.

Un passo della *Metafisica* (E 1, 1025 b 3-1026 a 32) può essere considerato riassuntivo: «Oggetto della nostra ricerca sono i princìpi e le

cause degli esseri, intesi appunto in quanto esseri. Infatti, c'è una causa della salute e del benessere; ci sono cause, princìpi ed elementi anche degli oggetti matematici e, in generale, ogni scienza che si fonda sul ragionamento e che in qualche misura fa uso del ragionamento tratta di cause e princìpi più o meno esatti [...] Anche la scienza fisica tratta di un genere particolare dell'essere: tratta, precisamente, di quel genere di sostanza che contiene in sé medesima il principio del movimento e della quiete. Ebbene, è evidente che la fisica non è scienza pratica né scienza poietica: infatti il principio delle produzioni è in colui che produce, ed è o l'intelletto o l'arte o altra facoltà; e il principio delle azioni pratiche è nell'agente ed è la volizione, in quanto l'oggetto dell'azione pratica e della volizione coincidono. Pertanto, se ogni conoscenza razionale è o pratica o poietica o teoretica, la fisica dovrà essere conoscenza teoretica, ma conoscenza teoretica di quel genere di essere che ha potenza di muoversi e della sostanza intesa secondo la forma, ma prevalentemente considerata come non separabile dalla materia. È necessario, poi, che risulti chiaro anche il modo di essere dell'essenza e della forma, perché se non è chiaro questo, la ricerca è assolutamente vana. Ora, le cose che sono oggetto di definizione, ossia le essenze, sono, alcune, come il camuso, altre, invece, come la concavità. Queste differiscono tra loro per il fatto che il camuso è sempre unito alla materia (il camuso, infatti, è un naso concavo), mentre la concavità è scevra di materia sensibile. Pertanto, se tutti gli oggetti della fisica si intendono in modo simile al camuso, come per esempio naso, occhio, viso, carne, orecchio, animale in generale, foglia, radice, corteccia, pianta in generale (infatti, non è possibile dare definizione di nessuna di queste cose senza il movimento, ma esse hanno sempre materia), allora è chiaro come si debba ricercare e definire l'essenza in sede di ricerca fisica, ed è chiaro altresì perché sia compito del fisico speculare anche su una parte dell'anima, e precisamente su quella parte dell'anima che non esiste senza la materia. Da tutto questo risulta evidente, dunque, che la fisica è una scienza teoretica. D'altra parte, anche la matematica è scienza teoretica. Se, però, essa sia scienza di esseri immobili e separati, per ora ci resta oscuro. Peraltro, è chiaro che alcune branche della matematica considerano i loro oggetti come immobili e non separati. Ma se esiste qualcosa di eterno, immobile e separato, è evidente che la conoscenza di esso spetterà certamente a una scienza teoretica, ma non alla fisica, perché la fisica si occupa di esseri in movimento, e neppure alla matematica, bensì a una scienza anteriore all'una e all'altra. Infatti, la fisica riguarda realtà separate ma non immobili; alcune delle scienze matematiche riguardano realtà che sono immobili ma non separate, bensì immanenti alla materia; invece la filosofia prima riguarda realtà che sono separate e immobili [...] Tre sono, di conseguenza, le branche della filosofia teoretica: la matematica, la fisica e la teologia. Non è dubbio, infatti, che se mai il divino esiste, esiste in una realtà di quel ti-

po. E non è dubbio, anche, che la scienza più alta deve avere come oggetto il genere più alto di realtà. E mentre le scienze teoretiche sono di gran lunga preferibili alle altre scienze, questa è, a sua volta, di gran lunga preferibile alle altre due scienze teoretiche. Si potrebbe ora porre il problema se la filosofia prima sia universale, oppure se riguardi un genere determinato e una realtà particolare. Infatti, a questo riguardo, nello stesso ambito delle matematiche c'è diversità: la geometria e l'astronomia riguardano una determinata realtà, mentre la matematica generale è comune a tutte. Orbene, se non esistesse un'altra sostanza oltre quelle che costituiscono la natura, la fisica sarebbe la scienza prima; se, invece, esiste una sostanza immobile, la scienza di questa sarà anteriore alle altre scienze e sarà filosofia prima, e in questo modo, ossia in quanto è prima, essa sarà universale, e ad essa spetterà il compito di studiare l'essere in quanto essere, cioè che cosa l'essere sia e quali attributi, in quanto essere, gli appartengano». Cfr. **Γ** 3, 1005 a 29-b 2; **K** 3-4 1061 a 28-1061 b 33; 7, 1063 b 36-1064 b 14; **M** 1-3; *Topici* VI 6, 145 a 15-18; *Analitici secondi* I 13; *Fisica* II 1 e 2; Teofrasto, *Metafisica* 4a, 18 ss. In questi passi si discute anche del rapporto tra filosofia prima (la più alta delle scienze teoretiche), matematica e fisica.

Owen (1986, p. 315 ss.) discute le tesi contrapposte di chi sostiene l'applicazione, nelle opere aristoteliche, della matematica ai fenomeni fisici (tra cui Drabkin 1938), e di chi considera l'uso di concetti, proposizioni e metodi matematici «incidental rather than essential» (Solmsen 1960, p. 260 n. 23), definendo scherzosamente questa controversia «a species of cold war» (p. 315). Riesaminando i punti della questione più discussi, Owen distingue opportunamente diversi livelli di astrazione matematica, e diverse modalità con cui essa si integra nell'argomentazione.

Sul rapporto tra matematica e astronomia in Aristotele, sulla sua rappresentazione del cosmo (*Metafisica* Λ 8), e sulla differenza con i puri modelli geometrici elaborati già precedentemente e in epoca alessandrina, vd. Giannantoni 1984, p. 56; Franco Repellini 1980 e 1993. Un confronto tra la concezione greca, riguardante il rapporto tra matematica e fisica, e quella cinese antica è condotto da Lloyd 2004. Vd. anche Lang 2005.

Per l'orientamento della scienza matematica verso la geometria alla maniera di Euclide e il conseguente abbandono dell'aspetto algebrico, vd. Dijksterhuis 1980, p. 71 ss. Si è in genere dato molto rilievo alla differenza tra la matematica greca, preminentemente geometrica, e la matematica babilonese e egiziana. Ciò che caratterizza la geometria greca fu soprattutto lo sviluppo del concetto di prova.

Nella *Meccanica*, fisica e geometria[42] costituiscono le scienze di riferimento, ai cui principi e ai cui metodi dimostrativi

l'autore attinge. Gli oggetti analizzati hanno proprietà fisiche e sono studiati sia come tali, sia come pure 'figure', come entità geometriche: i due livelli di analisi si affiancano e spesso si sovrappongono. La meccanica sembra così collocarsi «a metà strada fra teoria (geometrica) e pratica (ingegneristica), o se vogliamo, fra scienza pura e applicata, o fra scienza e tecnica, partecipando al tempo stesso di entrambe»[43].

Nella scienza ellenistica la meccanica è strettamente connessa con la geometria. «Lo stretto legame tra geometria e meccanica, intese come due teorie scientifiche, è chiaro ed estremamente fecondo in Archimede. Innanzitutto Archimede, nel trattato *Sull'equilibrio delle figure piane*, in cui fonda lo studio delle macchine semplici, trae dalla geometria non solo la forma generale dello schema deduttivo, ma anche molti risultati tecnici particolari. Inoltre, cosa per noi ben più sorprendente, Archimede usa le leggi della meccanica per scoprire teoremi di geometria» (Russo 1998, p. 94). Nel trattato sul *Metodo*, Archimede espone due metodi diversi «per scoprire risultati matematici e per darne dimostrazioni rigorose. Il metodo geometrico è usato solo in un secondo momento, per dimostrare proposizioni già individuate come plausibili. Per l'individuazione euristica delle proposizioni egli usa invece il metodo "meccanico", che giudica più intuitivo. L'esposizione di Archimede è di grande interesse per diverse ragioni: per l'estrema onestà intellettuale di chi si sforza di far comprendere non solo la dimostrazione dei propri risultati, ma anche il procedimento mentale con cui sono stati individuati; per l'importanza rivestita per Archimede da ciò che possiamo chiamare "intuizione fisica"; perché mostra quanto sia essenziale per ottenere risultati scientifici nuovi, anche per un "genio" quale Archimede, l'uso di metodi con i quali si ha familiarità» (*ibid*. p. 94). La scoperta, nel 1906, dello scritto sul *Metodo* ha riproposto all'attenzione il «rapporto tra via meccanica e dimostrazione geometrica» nella soluzione dei problemi; la continuità con il passato è rappresentata per Archimede da Euclide: «Per il IV secolo a. C. è ancora possibile trovare testimonianze dell'esistenza non solo di una pluralità di metodi, ma anche di forti divergenze teoriche in seno alla geometria. Nel III secolo, stando almeno agli scritti dei matematici che ci sono stati conservati, le divergenze sembrano essersi in gran parte dissolte per quanto riguarda la validità della struttura assiomatica della geometria» (vd. Cambiano 2006, p. 99). Ricordo che gli scritti di Erone di Alessandria, altro notissimo 'meccanico' forse del primo secolo d. C., mostrano una stretta connessione con Euclide; l'inclusione di geometria e fisica nella meccanica è molto importante, considerando i vari intenti che Erone si propone, rivolgendosi a un pubblico istruito

o che vuole esserlo (vd. Giardina 2003; Tybjerg 2004; 2005, in particolare p. 223 ss.). Sulle *Mecaniche* di Galileo come scienza geometrica, vd. Gatto 2002, p. LXXXIX ss.: la *stesura lunga* di quest'opera si configura come nuova rispetto a quella *breve* per la «presenza in essa di un preciso impianto teorico di riferimento che conferisce alla meccanica galileiana la connotazione di scienza razionale deduttiva. È probabile che nel costruire questo apparato [...] Galileo abbia tenuto presente il *Mechanicorum liber* di Guidobaldo, autore che aveva inteso conferire alla sua meccanica il modello formale degli *Elementi* di Euclide».

È stato più volte notato, da parte degli studiosi, che la distinzione tra 'naturale' e 'artificiale', tra fisica e meccanica, ha ostacolato nell'antichità l'idea di una meccanica universale o di una fisica meccanica. Questi due ambiti disciplinari recuperano parzialmente un terreno di incontro proprio nella *Meccanica*, anche se in modo teoricamente insufficiente, e ancora molto lontano dalle concezioni moderne: Galileo, polemico nei confronti della scienza aristotelica, sottolinea che la natura non può essere ingannata. Sul rapporto tra meccanica e fisica nell'antichità e nei primordi dell'età moderna, vd. Krafft 1990, pp. 49 ss., 85 ss., in particolare p. 70 s.: «Galilei considerava la meccanica come una "scienza della natura", un settore della "fisica", ed è questa un'opinione tuttora dominante. Per contro essa era per Aristotele e per tutta l'antichità (e il Medioevo stesso) un' "arte", l' "arte" di vincere la natura, dunque una parte della tecnica [...] La differenza nei confronti di quella scienza della natura che è la meccanica moderna risulta immediatamente chiara, se si pone mente alle enumerazioni che nell'antichità si facevano di particolari settori della "meccanica". La meccanica viene suddivisa in: architettura, arte del sollevamento, degli armamenti, dell'edilizia, della macchine di irrigazione e di drenaggio, degli automi, degli orologi ad acqua e solari e delle sfere (cioè degli strumenti per l'osservazione e la dimostrazione usati in astronomia). Quale presupposto di tutte le discipline della "meccanica", Pappo aggiunge la determinazione del punto di gravità e dell'equilibrio implicita già nell'idea del galleggiamento di Archimede; un peripatetico vi avrebbe sostituito la conoscenza e l'uso del "principio dei cerchi concentrici diseguali". La meccanica antica è tutto questo. Oggi riferiremmo l'ultima parte teorica alla fisica e tutte le altre, al contrario, alla tecnica o alla tecnica meccanica; per l'antichità, tutte queste parti, senza eccezione, ivi compresa quella teorica, rientravano nella "tecnica" (*mechaniké téchne*)».

È ovvio che il concetto moderno di meccanica non può essere riferito al mondo antico, per il quale la meccanica è prevalentemente una *techne*; tuttavia nell'opera aristotelica, i problemi meccanici si giovano del confronto e dell'apporto della matematica (geometria) e della fisica, in quanto i suoi oggetti sono riducibili a schemi e a punti, e hanno

nello stesso tempo caratteristiche fisiche (peso). Si mette in evidenza così l'importante funzione mediatrice svolta dalla *Meccanica*, nel passaggio a un'indagine matematica anche dei prodotti della *techne*. Nell'Ellenismo, si instaura definitivamente, con i trattati di Archimede, di Filone di Bisanzio e (più tardi) di Erone di Alessandria, un approccio matematico e fisico al mondo *artificiale*, approccio riservato, nella fisica aristotelica, al mondo naturale. Sull'importanza di questa tradizione si sofferma Carlos Solís Santos, nel delineare lo sviluppo della meccanica antica, attraverso i suoi più importanti rappresentanti: «Da un lato, essa applica la geometria allo studio delle macchine, dall'altro meccanizza la natura (in particolare ciò accade nella pneumatica) istituendo la sperimentazione come metodo adeguato all'individuazione dei primi princìpî fisici specifici nella sistematizzazione geometrica del settore [...] le scienze matematiche dell'artificiale, cioè l'ingegneria alessandrina, si sviluppano lungo vie simili a quelle che più tardi è possibile riconoscere nella rivoluzione scientifica» (1998, p. 715).

Il compenetrarsi e il sovrapporsi di ambiti disciplinari che Aristotele invece distingue, pur se gli oggetti su cui si indaga possono essere gli stessi[44], rappresentano una significativa evoluzione verso un concetto di scienza applicata. L'intento dell'autore è tuttavia più immediatamente collegabile con l'esigenza di ancorare la *mechane* a un sapere che le garantisca un posto nella gerarchia delle scienze: il richiamo ai *problemata* e ai *theoremata mathematika* e *physika* dà enfasi al tema trattato, e riassume efficacemente contenuto e metodo.

Astronomia, ottica, armonica (cui si aggiunge la meccanica, in alcuni contesti) sono considerate da Aristotele come le discipline più fisiche nell'ambito delle scienze matematiche[45]; in esse, applicazioni speciali determinano rapporti di subordinazione: alla scienza subordinata spetta la conoscenza del *che* e a quella sopraordinata la conoscenza del *perché*. Riassuntivo dell'ampia e stratificata argomentazione su questo tema può essere un passo degli *Analitici secondi*: «In un altro modo differisce il *perché* dal *che* nella misura in cui si considera ciascuno dei due secondo una scienza diversa. Tali sono quelle cose che sono in una relazione tale per cui una è sotto l'altra, come per esempio le cose di ottica rispetto alla geometria, quelle di meccanica rispetto alla stereometria – τὰ μηχανικὰ πρὸς στερεομετρίαν, quelle di armonica rispetto all'aritmetica e quelle di astronomia osservativa rispetto all'astronomia matematica.

Alcune di queste scienze sono pressoché sinonime; per esempio sono astronomia sia l'astronomia matematica sia quella nautica e sono armonica sia quella matematica sia quella acustica. In questi casi spetta agli osservatori sapere il *che*, mentre il *perché* spetta ai matematici. Questi ultimi infatti possiedono le dimostrazioni delle ragioni e spesso non conoscono il *che*, così come coloro che considerano l'universale spesso non conoscono alcuni dei singolari per mancanza di osservazione [...]. Nello stesso rapporto in cui è l'ottica con la geometria è con l'ottica un'altra scienza, precisamente quella dell'arcobaleno. Infatti sapere *che* spetta al fisico e sapere il *perché* all'ottico, o all'ottica semplicemente o a quella matematica. Molte delle scienze che non sono subordinate l'una all'altra sono nella stessa situazione, come per esempio la medicina rispetto alla geometria. Spetta al medico sapere che le ferite circolari guariscono più lentamente, mentre il perché spetta al geometra»[46]. Sempre negli *Analitici secondi*, «più rigorosa e anteriore rispetto ad un'altra» viene definita la scienza «che sia insieme del *che* e del *perché*, ma non del *che* separatamente dalla scienza del *perché*»[47].

Nella *Meccanica*, il sillogismo del *che* – ὅτι – e del *perché* – διότι – è espresso in modo diverso, ma conserva la stessa funzione argomentativa. L'autore non sembra tuttavia stabilire gerarchie, e accenna invece alla 'somiglianza' dei problemi. La stessa distinzione proposta (vd. τὸ ὥς e περὶ ὅ, l. 27 s.) viene in un certo senso superata nel corso dell'esposizione in cui si alternano e si sovrappongono 'ragioni' geometriche e 'ragioni' fisiche legate essenzialmente alle qualità degli oggetti. Lo scopo dimostrativo che l'autore annuncia non si realizza in modo efficace e costante: la ricerca del *perché* si appiattisce spesso sul *che*, la spiegazione si banalizza in una illustrazione, come di frequente nei trattati minori.

Le entità geometriche, in Aristotele, hanno sì una certa materia, ma essa è intelligibile, non sensibile, non fisica e non in movimento. «Il matematico svolge la sua indagine intorno a nozioni ottenute per astrazione. Egli, infatti, studia le cose prescindendo da tutti i caratteri sensibili: per esempio, dal peso e dalla leggerezza, dalla durezza e dal suo contrario e, ancora, dal caldo e dal freddo e da tutte le altre coppie di con-

trari che esprimono caratteri sensibili»[48]. Nella *Meccanica*, l'oggetto fisico è osservato e studiato nello stesso tempo come tale (dotato pertanto di proprietà peculiari, di peso, prima di tutto, e di movimento) e come figura geometrica, cui possa essere ricondotto. Questo approccio, che costituisce forse anche un tentativo di superare il puro meccanicismo[49], pone l'opera in un significativo momento di passaggio, fra l'indagine del passato e i futuri sviluppi della scienza ellenistica: in essa si riprende l'impostazione fisico-matematica del sapere, che è rintracciabile anche nelle opere sicuramente autentiche di Aristotele, pur dominate dal punto di vista biologico. Il Peripato ha avuto un importante ruolo di mediazione tra i diversi orientamenti epistemologici: la matematizzazione nelle scienze resta una via perseguita, anche se parzialmente, una via che si mostrerà in seguito particolarmente importante; le qualità conservano tuttavia la loro funzione euristica accanto ai tentativi di determinare quantitativamente la relazione tra forza, tempo e spostamento[50].

La dicotomia, matematizzazione o no, quantità o qualità, resta una costante nello sviluppo della scienza greca, in vari ambiti; si può ricordare un'interessante analogia in campo geografico. Tolemeo, nell'introduzione alla *Geografia*, distingue la *geographia* propriamente detta dalla *chorographia* (I 1). La prima consiste nel tracciamento della carta a piccola scala di tutta l'ecumene su fondamenti astronomici e matematici: è il regno del numero; la seconda ha per fine carte a grande scala di regioni limitate, per le quali passa in seconda linea il problema della proiezione (importantissimo, ovviamente, nel primo caso): qui contano le qualità; si procede 'a occhio', e si descrive 'pittoricamente' il paese in oggetto.

Una delle differenze tra matematica e fisica, stabilite da Aristotele, è, come si è detto, che gli oggetti della matematica possono essere studiati astraendo dal movimento, mentre la fisica può considerare le cose sensibili solo in quanto mobili, prescindendo dagli altri caratteri[51]. L'ampia riflessione di Aristotele sul movimento, la centralità del concetto di *kinesis* nella sua filosofia, le 'leggi' della dinamica peripatetica costituiscono così un motivo conduttore dell'argomentazione[52], imponendosi anche in quest'opera.

Il primo ad aver fondato su principi matematici la trattazione di questioni di meccanica è Archita, secondo la testimonianza di Diogene Laerzio: «Per primo egli trattò metodicamente le questioni di meccanica servendosi dei princìpi matematici, e per primo introdusse il movimento organico nella costruzione delle figure geometriche, quando cercò due medie proporzionali secando il semicilindro, per ottenere la duplicazione del cubo. In geometria per primo trovò la costruzione del cubo, come dice Platone nella *Repubblica*»[53]. In Aulo Gellio, Archita ci appare in un certo senso l'anticipatore dei *thaumata* di età ellenistica: la sua colomba di legno aveva un congegno meccanico che le permetteva di volare[54].

Già Plutarco aveva indicato in Eudosso e Archita i fondatori della meccanica, nel famoso racconto relativo ad Archimede e alle sue macchine durante l'assedio di Siracusa: «Gli iniziatori della meccanica, scienza oggi seguita con interesse e a tutti nota, furono Eudosso ed Archita, i quali comunicarono un grande fascino alla geometria mediante l'eleganza dei suoi procedimenti. Essi diedero ai problemi che non offrivano possibilità di soluzione con un procedimento soltanto logico e verbale il sostegno di schemi visivi e meccanici. Ad esempio nella soluzione del problema di due rette medie proporzionali, elemento necessario alla composizione di molte figure, entrambi gli scienziati ricorsero a mezzi meccanici, servendosi delle medie proporzionali che certi strumenti ricavano da linee curve e da segmenti. Platone rimase indignato da questo modo di procedere e polemizzò coi due matematici, quasiché distruggessero e corrompessero ciò che vi era di buono nella geometria: in tal maniera essa abbandonava infatti i concetti astratti per scendere nel mondo sensibile, ed usava anch'essa oggetti che richiedevano ampiamente un grossolano lavoro manuale. La meccanica fu così separata e si staccò dalla geometria; per molto tempo la filosofia l'ignorò, ed essa divenne una delle arti militari»[55].

Nella storia della scienze e della loro classificazione in Grecia, ha grande rilievo un frammento di Archita, citato in modo più esteso, rispetto ad altre fonti, da Porfirio nel *Commento alla Scienza armonica di Tolemeo*: «Ottime cognizioni mi sembra abbiano raggiunto gli studiosi di scienze ma-

tematiche; e non è strano che ragionassero correttamente sulle proprietà delle singole cose, perché conoscendo bene la natura del tutto, dovevano vedere bene anche come sono le cose particolari. Così sulla velocità degli astri, sul loro sorgere e tramontare ci hanno fornito chiare nozioni, come anche sulla geometria, sull'aritmetica e in misura non minore sulla musica, perché queste scienze sembrano essere sorelle, poiché trattano delle due originarie forme dell'essere, che sono tra loro sorelle»[56]. In questo frammento, è contenuta un'analisi del suono, che influì notevolmente sugli studi di acustica, e in particolare sull'impostazione e sui presupposti teorici del trattato sui *Suoni*, appartenente al *C. A.*[57]

Il quadrivio di geometria, aritmetica, astronomia e musica[58] sembra escludere ottica e meccanica, due discipline alle quali Archita invece si dedicò, stando alle testimonianze[59]: si può supporre che Archita le considerasse incluse nella geometria, in quanto scienze che si occupano del particolare. Dal confronto con gli *Analitici secondi* di Aristotele, in cui l'ottica è nominata come scienza subordinata alla geometria e la meccanica alla stereometria[60], emerge così il cammino percorso da queste due discipline verso una sempre maggiore evidenza epistemologica: la meccanica è ormai una disciplina acquisita. La *Meccanica* aristotelica e più tardi l'*Ottica* di Euclide sono i primi trattati pervenuti, dedicati a due *technai* strettamente collegate con la geometria, con un metodo dimostrativo, che trasforma l'*empeiria* di artigiani, costruttori, architetti, scultori e pittori in un sapere fondato sul *logos*.

L'ottica poté essere ritenuta l'applicazione di una scienza matematica, la geometria, al mondo fisico: prima di Euclide, spiegazioni geometriche di fenomeni ottici sono in connessione con indagini astronomiche e cosmologiche; al riguardo, sono significative le testimonianze relative a Ippocrate di Chio, a Filolao e in genere ai Pitagorici[61].

Proclo, nel riferire e nel commentare la ripartizione della scienza matematica, definisce l'ottica e la canonica (la teoria matematica della musica, cioè del canone musicale) «progenie della geometria e dell'aritmetica, la prima facendo uso delle linee visive e degli angoli formati da queste; e si suddivide in ottica propriamente detta, la quale spiega

la causa delle false apparenze per via della lontananza delle cose vedute; per esempio, della convergenza delle parallele o della osservazione di oggetti quadrangolari veduti come circolari; e in catottrica, che tratta in generale delle svariate riflessioni della luce, ed è connessa con la conoscenza della rappresentazione degli oggetti, e con quella che chiamiamo scenografia, la quale insegna come si possa far apparire le immagini non sproporzionate e deformate a causa delle distanze e delle altezze delle figure. Infine la canonica studia i rapporti presenti nelle scale musicali, ricercando le divisioni del monocordo e fondandosi esclusivamente sulla percezione sensibile; e, come dice Platone, anteponendo l'orecchio alla mente [*Rep*. VII 531 a]». Subito dopo queste scienze ricorda la meccanica e l'astronomia (*Commento al I libro degli Elementi di Euclide*, Prologo I, pp. 40, 9-41, 2; p. 41, 3 ss.; 19 ss. Friedlein).

Anche la meccanica in quanto applicazione della stereometria è collegata con lo studio del cosmo, dei meccanismi, questa volta 'naturali', ma essenzialmente afferrati con il pensiero razionale, delle sfere celesti: Eudosso, insieme con Archita, è ritenuto da Plutarco, come si è visto, inventore della meccanica. Nella *Repubblica*, Platone individua un divario, una lacuna da colmare, tra la geometria, nominata dopo l'aritmetica (e 'logistica', la scienza del calcolo), come sapere (*mathema*) necessario all'educazione del vero filosofo, e l'astronomia, in quanto quest'ultima studia 'solidi' in rivoluzione, e richiede pertanto una 'geometria dei solidi', uno studio esteso alla terza dimensione[62]. La matematica, la geometria piana e solida, l'astronomia e l'armonica sono scienze di fondamentale importanza nella strada che porta alla conoscenza più alta[63]; tutte possono essere applicate sia al macrocosmo sia al microcosmo, e possono sussistere come speculazione in sé e come fondamento 'razionale' di ogni attività pratica dell'uomo[64]. Il macrocosmo è al tempo stesso oggetto di studio e modello di apprendimento, non solo in quanto sollecitazione a guardare 'verso l'alto'[65].

È ben nota la predilezione dei Greci, e dell'Accademia in particolare, per la geometria, come espressione di un 'ordine strutturato'. La geometria era stata fondamentale nella costruzione di sistemi cosmologici complessi, come quello delle sfere omocentriche di Eudosso, che Aristotele riprende. I corpi celesti, perfetti, immutabili e incorruttibili

di contro ai corpi della regione sublunare, soggetti a mutamento, si prestavano molto bene a essere gli oggetti ideali dell'interpretazione geometrica. Lo schema di Eudosso era puramente matematico, destinato a 'salvare i fenomeni'; Aristotele tentò di dare alla struttura una interpretazione anche fisica (vd. *Metafisica* Λ 8; la distinzione tra astronomia matematica e astronomia fisica è delineata per es. da Dijksterhuis 1980, p. 87 ss.). Il ricorso a modelli geometrico-cinematici, per spiegare i fenomeni celesti come effetti visibili di moti di sfere e di cerchi, può essere considerato, osserva Ferruccio Franco Repellini, una scelta: «Certamente il suo motivo più forte fu che un modello geometrico-cinematico porta con sé immediatamente una propria interpretazione in termini fisici: il legame, che una spiegazione in termini di movimenti introduceva tra i fenomeni che accadono, mentre da un lato ricavava dalla geometria un ordine e un'intelligibilità, dall'altro rendeva il campo dei fenomeni passibile insieme di una chiusura e di una interrogazione causale; per questa via, tale campo poteva convertirsi in un mondo» (1992, p. 129) .

Il sistema 'meccanico' di Aristotele offriva una rappresentazione dell'universo come un tutto con le sue parti interconnesse, ognuna delle quali seguiva la propria 'legge naturale'. Ciò che collega più immediatamente cosmologia e meccanica è la centralità che in esse ha il movimento circolare. Il rapporto tra cosmologia e geometria si integra con il più complesso e ampio rapporto tra cosmo e vita umana.

Astronomia e scienza delle macchine hanno avuto un ruolo fondamentale nella formazione della scienza moderna: esse hanno in comune l'analisi del movimento, la ricerca di invarianti e di regolarità, al di là delle apparenze. Si può dire che la meccanica greca nel suo complesso e quella medievale hanno favorito maggiormente il cammino della scienza moderna, proprio perché lo studio delle 'forze' è tipico della meccanica tradizionale, ma è assente dall'astronomia antica in quanto, secondo la concezione prevalente, il movimento dei cieli si produce senza sforzo. Sulla continuità dei temi e dei concetti comuni a questi due ambiti disciplinari, le cui riflessioni e problemi rimangono vivi fino a fondersi nella meccanica cosiddetta razionale di Newton e Lagrange, vd. per es. De Gandt (1982), che dedica uno studio al concetto di forza nella meccanica antica. Un'analisi del rapporto tra meccanica e cosmologia, approfondito anche sulla base dell'interpretazione delle fonti antiche, nella scienza medievale e moderna è condotto da Duhem 1988, e da Clagett 1981, p. 625 ss.

L'universo antico è fondamentalmente concepito in modo geometrico e meccanico, ma il suo carattere meccanico non fu sempre riconosciuto come tale, proprio per la natura, ritenuta diversa, dei corpi celesti rispetto agli oggetti del mondo sublunare, e per la diversa origine del movimento. L'espressione *machina mundi*, destinata a grande

fortuna (vd. per es. Hamesse 2005, p. 161 ss.), a molte applicazioni ed estensioni nel campo dell'anatomia, della fisiologia, della psicologia (la meccanica del corpo, la meccanica delle passioni), si legge in Lucrezio (V 96); tuttavia questo concetto è molto ampio e non rinvia necessariamente, o solo, a una visione meccanicistica dell'universo, quale fu espressa, nel mondo antico, dagli atomisti (Vd. Kayser 2005, p. 65 ss.; Di Pasquale 2008, p. 35 ss.; Berryman 2009, p. 9 ss., in particolare p. 38 s.). In esso è implicata una corrispondenza tra macrocosmo e microcosmo, tra universo della natura e dell'uomo e, pertanto, anche della tecnica, come prodotto dell'uomo e non più come dono degli dei. All'assunzione del modello *machina*, per spiegare e comprendere l'universo fisico, si affianca, nella cultura medievale e moderna, l'altra famosa immagine del Dio 'orologiaio', che si impone progressivamente su quella antica del Dio 'geometra'.

L'analisi del movimento si applica all'intero cosmo. Platone descrive forma e moto del cosmo nel *Timeo* (33 b-37 a); nella *Repubblica*, il cosmo è immaginato come un congegno automatico (X 616 b-617 d; cfr. VII 514 a-515 a; *Leggi* I 644 d-e); il demiurgo nel *Timeo* di Platone è un artigiano, la cui attività è descritta appunto come artigianale. La stessa marionetta, fatta muovere da mani esperte, e gli automi possono essere metafore del funzionamento regolato del cosmo (vd. Aristotele, *Cosmo* 6, 398 b 10-19; cfr. *Metafisica* A 2, 983 a 12-14). Il funzionamento dell'automa, in cui ogni movimento è la necessaria conseguenza del precedente e causa del successivo, senza che appaiano all'esterno il principio informatore e l'impulso meccanico, sarebbe implicito, secondo Diego Lanza (1989, p. 109 ss.), nell'idea di tragedia che Aristotele espone nella *Poetica*. Nel trattato sul *Moto degli animali*, Aristotele introduce significativamente anche un *excursus* sui movimenti dell'universo (3-4, 699 a 12-700 a 6; cfr. 2, 698 b 9-12). La teoria delle proporzioni e il modello geometrico collegano più da vicino cosmologia e meccanica, fin dall'inizio, e innestano nella tecnica, nel paradigma costruttivo, un sapere scientifico: «attraverso la teoria delle proporzioni, essenza della sua arte, il costruttore traduce in forma visibile le armonie dei numeri, attraverso la rappresentazione grafica affronta i problemi di una geometria pratica» (vd. Ferrari 1992, p. 169).

Con Aristotele e la sua scuola lo studio del moto circolare rinsalda questo rapporto: se nell'esordio l'autore della *Meccanica* sembra concedere spazio all'idea tradizionale, 'prescientifica', della meccanica come un raggiro della natura, dà tuttavia subito una spiegazione tecnica degli effetti che se ne traggono, inserendoli nella prospettiva della dinamica del cerchio, e implicitamente nello studio della meccanica dei corpi celesti, condotto dal Peripato (vd. Meißner 2005, p.132). D'altra parte il concetto aristotelico di tecnica che imita la natura (vd. per es. *Fisica* II 2, 194 a 21 s.) e di natura che opera come un artigiano (vd.

per es. *Parti d. an.* I 5, 645 a 9) può essere considerato complementare all'immagine del mondo come macchina. «Nella sua cosmologia Aristotele aveva riservato il moto circolare ai cieli, sottraendolo completamente alla Terra, dominata dai moti rettilinei. A loro volta la velocità dei singoli astri, e delle sfere celesti che li trasportavano, era stata ricavata da una semplice legge che legava in proporzionalità diretta la velocità alla distanza dal centro: dato un raggio che descrive un cerchio i punti più distanti dal centro si muoveranno con velocità maggiore, dato che descrivono spazi maggiori in tempo uguale. L'idea centrale della meccanica, figlia della scuola aristotelica e forse di Stratone, terzo scolarca del Liceo, è quella di trasferire il moto circolare dal cielo alla Terra, di osservarne gli effetti "meravigliosi" e di metterli a frutto "per dominare la natura, a vantaggio degli uomini". Infatti il principio delle velocità proporzionali alle distanze viene tradotto in quello equivalente della proporzionalità inversa tra i pesi applicati in punti a diversa distanza dal centro e le distanze stesse, insomma nel principio della leva» (vd. Ferrari 1992, p. 169).

Il concetto aristotelico di imitazione della natura da parte delle tecniche e l'idea platonica di una guida nell'imitazione (vd. *Timeo* 28 b-30 c; 47; cfr. Anassagora 59 A 47, II p. 19 D.-K.: il cosmo è il risultato dell'opera ordinatrice dell'intelletto; sulla relazione tra i due livelli della tecnica divina e delle tecniche umane, in Anassagora e in Platone, vd. Cambiano 1991, p. 217 s.) si fondono, con suggestioni stoiche, nell'affermazione riguardante l'origine della meccanica in Vitruvio: «Tutti i congegni meccanici devono la loro origine alla natura e il loro principio fondamentale alla rotazione del mondo, da cui traggono lezione e insegnamento. Consideriamo infatti attentamente, prima d'ogni altra cosa, il sistema formato dal sole, dalla luna e dai cinque pianeti: se questi non avessero rotazioni regolate da leggi meccaniche, non avremmo periodicamente la luce né i frutti maturi. Quando dunque i nostri antenati compresero la natura di tali fenomeni, trassero i loro modelli dalla natura e imitandoli, guidati dalle opere divine, svilupparono applicazioni utili all'esistenza. E così, a scopo di maggiore comodità, alcune le realizzarono per mezzo delle macchine e delle loro rotazioni, altre per mezzo di strumenti, e quelle che capivano essere utili ai bisogni si preoccuparono di perfezionarle con la riflessione teorica, con la ricerca tecnica, con l'istituzione graduale di una scienza», *Architettura* X 1, 4 (vd. Romano 1997, *ad loc.*; Franco Repellini 1989; Fleury 2005).

Questa immagine di un'armonia tra meccanica e natura sembra contrastare con l'idea ricorrente nei testi antichi di una opposizione tra *mechane/machina* e *physis/natura*; essa si spiega nel contesto in cui è inserita, riguardante il progresso dell'uomo: Vitruvio riprendendo, da un diverso punto di vista, l'*excursus* sulla civilizzazione umana (vd. II

1) mette in evidenza la *necessitas* che ha condotto l'uomo a determinati traguardi.

Pappo, elencando i vari ambiti di applicazione pratica della meccanica, fa riferimento ai costruttori di sfere e di modelli che riproducono il movimento dei cieli, *Collezione* VIII 2, III p. 1026, 2 ss. Hultsch; (sul planetario inventato da Archimede, vd. Simms 2005, p. 178 s.; Graziano 2006, p. 22).

Geometria e fisica si alternano, come si è detto, nella spiegazione dei fenomeni proposta nella *Meccanica*, e qualche volta si sovrappongono: l'autore non si preoccupa di distinguere i piani argomentativi o di integrarli in modo coerente, procede invece in modo estemporaneo, senza apparente consapevolezza della complessità, o senza interesse per un approfondimento del dominio più ampio in cui si collocano le sue osservazioni. Tuttavia, la *Meccanica* attua, nel modo peculiare dei trattati minori carenti di una visione più organica, il tentativo della dinamica aristotelica di ricondurre i fenomeni fisici nel campo della matematica, tentativo in cui si riflette anche, o forse prima di tutto, l'esigenza di Aristotele di inserire i fenomeni in una visione più generale, unificata e unificante[66]: le entità matematiche sono trattate *in quanto* fisiche piuttosto che *in quanto* matematiche[67]. Il mondo fisico delle qualità conserva ancora intatta la sua funzione euristica: di una vera e propria matematizzazione, e della formulazione di leggi basate su precisi rapporti numerici si può parlare solo nella scienza ellenistica. Più in generale, nella concezione greca, ogni realtà può essere ricondotta a una figura geometrica, bidimensionale o tridimensionale; nella *Meccanica*, la geometria viene applicata a corpi in movimento, studiati però come figure bidimensionali. L'idea fondamentale di applicare la matematica alla fisica significa applicare le leggi di moto della fisica aristotelica alle figure della geometria piana. Gli oggetti geometrici, essenzialmente cerchi, vengono immaginati con consistenza e con proprietà fisiche, come ruote che girano a una certa velocità: hanno in sé ed esercitano una certa forza, o su di essi si esercita una certa forza.

Esposizione del tema

Conclusa la breve introduzione[68], si entra nel vivo della trattazione con le questioni relative alla leva (847 a 28-848 a 37)[69].

Gli effetti connessi con l'uso della leva esemplificano nel modo più immediato la 'meraviglia', cui si è fatto cenno in apertura. Secondo uno schema che rimarrà costante nell'introdurre le diverse questioni, si richiama subito l'attenzione sul paradosso, espresso ogni volta da una inattesa relazione tra contrari: nel caso della leva, ciò che è piccolo riesce a spostare ciò che è grande. Dalla meraviglia così suscitata, si passa all'individuazione della causa, che riconduce a un ordine e a una motivazione logica anche ciò che a prima vista sorprende in quanto apparentemente contraddittorio.

Al cerchio e alle sue proprietà si farà costantemente riferimento, in maniera sia diretta sia indiretta, nella spiegazione dei fenomeni osservati: la leva rinvia alla bilancia, e la bilancia al cerchio. La compresenza dei contrari (847 b 25; 848 a 4 ss.), nel cerchio, costituisce la meraviglia più grande, inerente a questa figura, capace di riassumere ogni altra sua sorprendente caratteristica, o perfino di renderne conto: essa è connaturata al cerchio, che trae origine e forma dai contrari (847 b 19-21). Si pone in questo modo quasi una base 'naturale', su cui si innesta la *techne*.

Con chiarezza viene esposto il principio esplicativo unificante e fondante: in un cerchio il punto più distante dal centro si muove con una velocità maggiore (848 a 14 ss.; b 3 ss.; 849 b 19 ss.; 850 a 36 s.; 852 b 15 ss. e *passim*). Alla genesi della figura del cerchio e all'individuazione dei contrari in esso presenti sono inoltre strettamente connessi due principi, quello dei cerchi concentrici diseguali, messi in movimento dalla stessa forza, e quello della composizione del movimento, che possono essere considerati come adattamenti e applicazioni del principio più generale alle esigenze di spiegare di volta in volta i diversi quesiti[70].

L'analisi del singolo meccanismo parte dall'applicazione del principio della leva, o dall'assimilazione dell'oggetto esa-

minato a una leva, il che rinvia a sua volta al funzionamento della bilancia, e quindi alle caratteristiche del cerchio[71]. Questo collegamento è possibile in quanto la leva è vista come una bilancia con bracci non uguali; inoltre, i bracci della bilancia oscillando descrivono dei cerchi, anche se non completi: essi sono considerati come entità geometriche, come raggi del cerchio che ha il suo centro nel fulcro. La predominanza dell'assunto geometrico non esclude tuttavia la considerazione degli effetti fisici del peso[72].

Gli strumenti e gli oggetti sono ridotti a entità geometriche trattate come fisiche o come puramente matematiche; del corpo in movimento si considera prevalentemente un punto, non la sua estensione. L'autore riunifica tutte le questioni individuando una causa comune e 'naturale' ai fenomeni e ai congegni su cui indaga: le proprietà del cerchio, di una figura che tradizionalmente esprime meglio e più di ogni altra la semplicità e l'unità che viene dai contrari. Il sapere geometrico è, dal punto di vista greco, un sapere esemplare, perfetto in sé, uno strumento di conoscenza; l'autore lo accoglie, in quanto la geometria, aristotelicamente intesa, ha la capacità di fornire una spiegazione causale dei fenomeni. Lo schema geometrico adottato ha una funzione unificante non solo argomentativamente: l'assimilazione a una figura geometrica è sempre possibile, quale che sia l'oggetto osservato, perché il *logos* può sempre operare una conoscenza più alta, che nel caso della *Meccanica* consiste nell'individuazione della causa, e ridurre così a unità la molteplicità. Le figure che si costruiscono (si noterà, leggendo il trattato, il tipico andamento espositivo degli *Elementi* di Euclide, in alcune formule introduttive) non si sovrappongono come entità estranee alle realtà che esse descrivono, né si sostituiscono a esse: ne sono invece, analogicamente, una componente, pur se frutto di astrazione logica.

Le questioni si succedono in questo ordine:

2. 850 a 3 : bilancia
3. 850 a 30 : leva
4. 850 b 10 : rematori di centro
5. 850 b 28 : timone

6. 851 a 38 : velocità della nave
7. 851 b 6 : navigazione con venti non favorevoli
8. 851 b 15 : movimento di figure tondeggianti e circolari
9. 852 a 14 : movimento per mezzo di cerchi più grandi
10. 852 a 23 : movimento della bilancia senza peso sopra
11. 852 a 29 : trasporto con rulli
12. 852 a 38 : lancio con la fionda
13. 852 b 11 : argani
14. 852 b 22 : punti di rottura dei pezzi di legno
15. 852 b 29 : ciottoli sulla spiaggia e loro forma
16. 853 a 5 : flessibilità del legno
17. 853 a 19 : cuneo
18. 853 a 32 : pulegge
19. 853 b 14 : ascia
20. 853 b 25 : stadera
21. 854 a 16 : tenaglia del dentista
22. 854 a 32 : schiaccianoci
23. 854 b 16 : rombo
24. 855 a 28 : movimenti dei cerchi concentrici (cosiddetta 'ruota di Aristotele')
25. 856 a 39 : letti e disposizione della corda
26. 857 a 5 : trasporto a spalla
27. 857 a 22 : trasporto a spalla
28. 857 a 34 : bilancieri
29. 857 b 9 : trasporto di pesi
30. 857 b 21 : posizione in piedi e seduti
31. 858 a 3 : moto di corpi già in movimento
32. 858 a 13 : cessazione del moto
33. 858 a 17 : forza propulsiva e durata del moto
34. 858 a 23 : lancio dei gravi
35. 858 b 4 : vortice.

Non tutti i quesiti riguardano l'uso di macchine (leva, argano, puleggia, cuneo)[73] che permettono di risparmiare la forza e ottenere il massimo effetto (il 'vantaggio meccanico' è solo presupposto, non calcolato)[74]. Alcuni riguardano oggetti naturali, o di uso comune, altri esperienze quotidiane, situazioni concrete, funzionamento di strumenti, configurazioni di determinati corpi; altri ancora tecniche di navigazione[75].

Alcune domande affrontano problemi teorici, essenzialmente geometrici (cerchi concentrici, cerchi maggiori, rombo); altre sviluppano problemi di meccanica generale (leva, bilancia, cuneo), o trattano aspetti di dinamica peripatetica (moto di corpi già in movimento, lancio dei gravi, inizio, durata e cessazione del movimento). L'autore analizza macchine di pratica utilità per il lavoro e la vita quotidiana, ma è unicamente interessato alla causa che spiega il loro funzionamento, non agli aspetti tecnici della loro costruzione, se non in quanto strettamente connessi con la causa individuata. La sua indagine non è al servizio di qualche progetto preciso; il suo intento non è di inventare qualcosa di nuovo o di socialmente utile, né di migliorare congegni già esistenti. Solo più tardi si imporrà la questione del rapporto tra la matematica, come attività puramente speculativa, ed esigenze tecniche di costruzione e di innovamento, che condurranno a un progresso della meccanica e a una sua più ampia applicazione nell'architettura, nell'ingegneria. Stando alla testimonianza di Plutarco, anche Archimede avrebbe considerato le proprie invenzioni come passatempi, come 'divertimenti di geometria'[76]. L'aspetto ludico dei congegni meccanici si impone d'altra parte anche con i *thaumata* di epoca ellenistica, epoca che pure vide un progresso delle arti meccaniche finalizzato a determinate esigenze sociali e militari.

Dalla lettura del trattato, emerge la figura di un autore che ha sia conoscenze teoriche sia conoscenze tecniche, messe a frutto di un'indagine animata da curiosità intellettuale per oggetti e tecniche di varia natura, con cui si riesce a ribaltare, in vista di un vantaggio, l'effetto che si produrrebbe in modo diverso senza la *techne*. È un peripatetico che imposta la propria ricerca concentrandosi sulle cause, ricondotte costantemente allo stesso principio dinamico, senza preoccuparsi di argomentare in modo più ampio le proprie considerazioni, né di tenere distinti piani argomentativi diversi.

Ciò concorda con l'impostazione che hanno anche gli altri trattati minori del *C. A.*, in cui si indagano fenomeni particolari ricollegandoli alle cause immediate che li producono, e applicando ogni volta lo stesso criterio interpretativo. Rispet-

to alla più articolata indagine condotta nelle opere sicuramente autentiche di Aristotele, essi certamente rappresentano un restringimento di prospettiva e una semplificazione di problematiche ben più vaste. Non è giusto tuttavia appiattire il valore di questi trattati considerandoli come una semplice raccolta di dati e di esperienze, separata da una ipotesi interpretativa, da un rigoroso impianto metodico, o come il frutto di una stanca e improduttiva ricerca sulla scia di quella straordinariamente feconda di Aristotele.

Oltre all'indubbio interesse che molti di essi hanno in quanto costituiscono la prima trattazione conservata su un determinato tema[77], bisogna considerare anche la loro importante funzione in un momento di passaggio e di significativa evoluzione della ricerca, e il loro significato nella storia della scienza. Nei *Colori*, la ricchezza di osservazioni, i tentativi di sperimentazione, il rilievo dato al cambiamento, ai fattori e alle molteplici variabili che lo favoriscono, e alla reciproca interazione dei colori avvicinano quest'opera ai moderni trattati di fenomenologia del colore[78]. Lo stesso si può dire per i *Suoni*, dove domina un tentativo di classificazione dei suoni e della voce umana, che tiene conto di molte altre qualità, oltre a quelle individuate dalla riflessione precedente, e dove emerge un contributo rilevante nell'ambito degli studi di acustica e di armonica, riguardante in particolare la differenza tra i suoni alti o acuti e i bassi o gravi[79]. La *Fisiognomica* costituisce un punto di riferimento obbligato per tutta la produzione antica su questo tema, e per gran parte della produzione moderna; all'organizzazione della materia nei *Problemi* e alla sua influenza si è già fatto cenno.

La funzione e la destinazione dei trattati tecnici sulle varie 'arti' sono ovviamente differenziate a seconda delle epoche, dei contesti, della personalità dell'autore; conseguentemente non omogeneo è il loro carattere: la *Meccanica* rientra nelle opere di scuola, e ha un'impostazione teorica. Il passaggio delle *technai* alla scrittura implica il riconoscimento di un accumulo di conoscenze, da poter trasmettere e insegnare; in questo passaggio ha influito anche il collegamento che per alcune di esse è stato stabilito con le scienze.

Curiosamente tra le *technai* del mondo antico, la nautica non fu oggetto di trattazione scritta: «Profondi motivi storici, sociali e cultura-

li (validi per i Greci non meno che per i Romani), fecero sì che a una vera "letteratura tecnica" dedicata alla nautica non si arrivasse mai. Di essa si poté trattare sempre e solo in margine ad altre materie: alla geografia nei peripli, alla guerra nei trattati di arte militare e nella storiografia; oppure le si concedeva un posto non molto rilevante in opere enciclopediche e miscellanee» (vd. Janni 2002, p. 410).

Ferrari nel sottolineare la difficoltà di formarsi un'idea delle tecniche a disposizione degli antichi, a partire dalle fonti, osserva: «La meccanica greca non parla nel modo più assoluto delle tecniche correnti [...] la meccanica si fonda solo su tradizioni *scritte* preesistenti, cioè si muove all'interno di un ambito già preselezionato, e preselezionato dall'accesso, che si verifica tra la metà del VI e la metà del IV secolo, di alcune tecniche a una forma di comunicazione scritta. Il problema quindi si sposta al piano di questa prima e decisiva selezione e occorre dire che le ragioni per cui alcuni settori passarono, ed altri no, non sono immediatamente perspicue» (1984, p. 278). L'autore si sofferma quindi sull'esclusione dalla trattazione scritta di «tre tecniche di prima grandezza, le arti del metallo, la ceramica e le costruzioni navali», e su un altro filtro selettivo che si opera specificamente nel trattato ellenistico. Altrove, riguardo allo stesso argomento, sottolinea che nell'Ellenismo «il baricentro dell'innovazione tecnica» si sposta sulla meccanica, e che «la figura unitaria dell'architetto tecnico» si differenzia: il 'meccanico' ellenistico rivive nell'ingegnere «militare-architetto-meccanico-matematico delle corti rinascimentali (1992, p. 176 s.).

La tecnica è vista fin dalle origini come costruzione, incastro e montaggio di elementi fino a formare un tutto; il prevalente 'paradigma costruttivo' permette di vedere ogni cosa come un sapiente e ben regolato montaggio: «La costruzione non fu sentita come *un aspetto* dell'attività tecnica, ma *era* la tecnica, in quanto la tecnica consisteva precisamente nella costruzione di una forma ottimale e definitiva» (Ferrari 1984, p. 292; 1992, p. 177).

La *Meccanica* fornisce un modello esplicativo del funzionamento di dispositivi comuni, e di casi in cui vi è sproporzione, asimmetria tra la forza impiegata e il risultato ottenuto facendo ricorso alla *techne*. Il trattato costituisce pertanto un superamento del cosiddetto paradigma costruttivo: applicando all'oggetto artificiale il metodo matematico e delle scienze naturali, non ci si chiede come esso sia fatto, ma come e perché funzioni in un certo modo, fondando la meccanica come disciplina scientifica[80].

Le questioni toccano problemi vari, di ineguale valore, interesse, estensione e difficoltà. Spiccano il principio della

composizione del movimento e la dimostrazione secondo il cosiddetto parallelogramma delle forze o delle velocità; l'argomentazione sembra avvalersi talora di importanti nozioni (di inerzia e di resistenza, per esempio), e di interessanti avanzamenti concettuali, come si vedrà nelle note. Preliminarmente, si può osservare che negli studi dedicati a questo trattato si è teso, con poche eccezioni, o a sottovalutarne l'importanza, dal punto di vista teorico, o al contrario a sopravvalutarla, a seconda dei momenti storici e dei diversi indirizzi[81]. Il tentativo di modernizzare il contenuto, di leggerlo alla luce delle acquisizioni moderne (vd. per esempio l'individuazione, da parte di Giovanni Vailati e Pierre Duhem, di una primitiva idea del principio delle velocità virtuali, nella *Meccanica*), trasferisce indebitamente l'analisi in un contesto diverso: nella moderna formulazione delle 'leggi' della dinamica aristotelica, i termini delle equazioni esprimono, tra l'altro, nozioni 'astratte' dai corpi cui possano applicarsi; al contrario, in Aristotele la forza non è concepita indipendentemente dalla sostanza cui inerisce. Si ricorre inoltre a una nozione di 'costante', estranea all'antichità. Ancora, la scienza antica è generalmente (se si eccettuano l'astronomia matematica, l'armonica, l'ottica, il metodo di Archimede) qualitativa, ed evita la precisione di equazioni rigorosamente espresse; così Aristotele esprime principi di proporzione[82], e stabilisce semplici relazioni tra i fattori che determinano la velocità degli oggetti in movimento, ma senza calcolare precise quantità fisiche. Diversa è anche l'impostazione dello studio del moto nella fisica moderna: la meccanica elabora leggi matematiche del moto di punti materiali, a prescindere dai moti degli oggetti concreti.

Gli studiosi della *Meccanica* hanno in genere posto l'accento sul suo approccio dinamico o statico; oppure si è parlato per essa di un approccio alla statica, attraverso i principi della dinamica[83]. In genere si è teso a contrapporre, su fondamenti peraltro obiettivi, l'approccio dinamico della *Meccanica* a quello statico di Archimede, basato sui centri di gravità e sull'equilibrio, e a collegare questa differenza con il problema della diffusione dell'opera aristotelica[84]. Anche in questo caso, ci si può domandare se la nostra suddivisione della meccanica in statica e dinamica non sia artificiosamente applicata al mondo antico[85].

La figura del cerchio

Alla disparità del contenuto e del livello argomentativo corrisponde invece un riferimento costante, esplicito o implicito, alla causa prima individuata, cioè il cerchio e le sue caratteristiche, valida per oggetti dell'arte e della natura, per ciò che è voluto e accidentale, e per ciò che è naturale e normale.

La celebrazione quasi innica delle proprietà del cerchio in questo trattato è stata messa in relazione con le tendenze e con la speculazione della filosofia platonica e pitagorica, in cui viene esaltata la perfezione della forma circolare: l'argomento è servito, insieme con altri, per sostenere la redazione giovanile della *Meccanica*. In realtà, in questo scritto non si parla né della bellezza né della perfezione del cerchio, ma della meraviglia connessa con la compresenza dei contrari, su cui si insiste perché essa ha proprio la funzione di introdurre e di spiegare tutte le altre 'contrarietà' messe in rilievo nella presentazione dei vari problemi: il cerchio e le sue proprietà costituiscono l'*arche* e l'*aitia* di tutti i meccanismi, considerati certamente come sorprendente frutto della *techne* ma anche come logica e 'naturale' conseguenza della dinamica propria del cerchio.

Parlando della leva (847 b 28-848 a 37) vengono esaltate le peculiarità del cerchio, in relazione ai fenomeni prodotti dall'abilità umana: il cerchio è una combinazione di opposti, cioè del movimento (la circonferenza) e della fissità (la stasi, il centro), del concavo e del convesso. Il cerchio si muove inoltre simultaneamente in opposte direzioni (in avanti e indietro, cioè in una direzione e nel suo contrario), come la linea che lo descrive: essa incomincia da un punto e ritorna allo stesso (848 a 6 ss.). Ancora, dato il suo movimento continuo, l'ultimo punto diventa il primo. Le proprietà del cerchio spiegano molti fenomeni straordinari, di cui può essere definito *arche* e *aitia* (il principio della leva è infatti basato sul moto circolare di ogni punto del braccio in movimento bilanciato; tutti gli aspetti legati ai movimenti meccanici possono inoltre essere ricondotti alla leva). Grazie alle caratteristiche del cerchio, che rappresenta una realtà sorprendente, in quanto in esso si

trovano conciliati alcuni contrari, il ‘piccolo’ e il ‘debole’ possono dominare il ‘grande’ e ‘potente’; di conseguenza non è strano che qualcosa di straordinario risulti da ciò che è ancora più straordinario (847 b 17 ss.).

L’immagine del cerchio è spesso associata nella cultura greca, come in altre, alla riflessione sugli opposti, sulla loro complementarità, sulla ciclicità di ciò che diviene. L’associazione tra l’idea dell’inizio e della fine, e la figura del cerchio, richiamata esplicitamente o implicitamente, è dominante e ricorrente nella riflessione sul tempo, nella sua percezione e concettualizzazione. Aristotele, spiegando come mai ci sembra talvolta che il tempo non sia passato, quando niente muta dentro di noi o muta senza che noi ce ne accorgiamo, fa l’esempio di coloro che in Sardegna dormono presso le tombe degli eroi: a essi non sembra che il tempo sia trascorso, perché uniscono (συνάπτουσι) il momento in cui si sono addormentati e il momento in cui si sono svegliati, facendone una sola cosa e annullando l’intervallo, e quindi il tempo (*Fisica* IV 11, 218 b 21 ss.).

Nei *Problemi* del *C. A.* , in un passo ricco di riferimenti a concezioni ben vive in molti ambiti, discutendo dell’accezione dei termini ‘anteriore’ (τὸ πρότερον) e ‘posteriore’ (τὸ ὕστερον), l’autore introduce la figura del cerchio e rinvia a un’affermazione di Alcmeone, collegabile con molte altre che congiungono la riflessione sulla vita umana e su diverse realtà alla proprietà specifica del cerchio, i cui punti sulla circonferenza possono essere inizio e fine (la circonferenza, in altre parole, non ha nessuna fine e nessun inizio), spesso richiamata nell’antichità per esemplificare la coincidenza e l’identità degli opposti, il ripetersi ciclico e il ritorno al punto di partenza: «Se è vero che ci sono un inizio, un mezzo e una fine per l’universo, e, quando si invecchia, si arriva al termine e si torna di nuovo al principio, e se ciò che è più vicino all’inizio è anteriore, che cosa ci impedisce di essere più vicini all’inizio? […] Come nel movimento del cielo e di ciascun astro si ha un cerchio, che cosa impedisce che siano ugualmente circolari la nascita e la distruzione degli esseri corruttibili, così che essi possano rinascere e morire ancora? Allo stesso modo si dice

che gli eventi umani sono un cerchio [...] Anche Alcmeone dice che gli uomini muoiono perché non possono congiungere l'inizio con la fine» (*Problemi* XVII 3, 916 a 20-35).

Lo sviluppo biologico dell'uomo è denotato come irreversibile nel frammento di Alcmeone (24 B 2, I p. 215 D.-K.). L'interpretazione di questo frammento può avvalersi anche del confronto con un passo del trattato sull'*Anima* di Aristotele (I 2, 405 a 29 ss.); Alcmeone associava circolarità e immortalità all'anima (vd. anche Platone, *Fedone* 72 a-b), ai processi psichici; linearità e mortalità al corpo. Contrariamente al corpo, dunque, l'anima immortale, a somiglianza degli astri, è capace di congiungere il principio con la fine, perché il suo movimento è ininterrotto, come quello degli oggetti celesti. Alla vita umana viene negata invece la perfezione del cerchio: essa ha un inizio e una fine che non coincidono. Vd. anche la testimonianza di Porfirio relativa a un discusso frammento di Eraclito: «comune infatti è il principio e la fine nella circonferenza del cerchio» (22 B 103, I p. 174 D.-K.; cfr. B 59, I p. 164; C 1, 19, I p. 187; Pindaro, fr. 137 Sn.-Maehl.); Ippocrate, *I luoghi nell'uomo* (1, VI 276 L.): «Penso che nel corpo non ci sia alcun inizio, ma che tutto sia allo stesso modo inizio e fine; se si disegna un cerchio, infatti, non si può trovare un inizio». Significativo è anche un frammento di Parmenide (28 B 5, I p. 232 D.-K.): «Per me è uguale, da qualunque punto io cominci, poiché in quel punto tornerò di nuovo». Rinvio al mio saggio (1999), per la continuità nel tempo di queste idee.

L'immagine del cerchio e della sfera è stata impiegata ripetutamente nel succedersi delle epoche per raffigurare fenomeni fisici, biologici e psichici, idee e concezioni, aspetti della vita e dell'esperienza umana. Essa soddisfa l'esigenza di semplicità da parte della mente umana alla ricerca di mezzi per conoscere e per comprendere, e nello stesso tempo scaturisce proprio dalla sua tendenza (che ha rispondenza anche nei meccanismi fisiologici del sistema nervoso) alla struttura più semplice, conseguentemente sentita come fondamentale. Le proprietà riconosciute a questa forma e alle sue parti sono servite a trasmettere percettivamente osservazioni, questioni e concetti di diversa natura. Più generalmente, dal punto di vista dello sviluppo delle tecniche, la scoperta della ruota costituì una tappa di grande importanza, vd. Childe 1992, in particolare p. 196 ss.

Al di là delle definizioni che si danno del cerchio nei vari contesti, in geometria, nella fisica, nella logica, l'appagamento e il godimento estetico che derivano dalla contemplazione delle figure (e di alcune più che di altre) ha contribuito in modo rilevante a consolidare la loro funzione di simboli, di compendio visivo di concezioni, di credenze, di riflessioni. Ciò che può essere assimilato al cerchio, oltre ad avere le caratteristiche positive connesse con questa figura, ha anche un'altra pro-

prietà sconvolgente (o confortante, a seconda delle considerazioni da cui si parte, e delle conclusioni cui si vuole arrivare): in esso, come in ciò che gli assomiglia, si confondono o si rendono indistinguibili due opposti tanto significativi come l'inizio e la fine. Così, ciò che apparentemente è opposto può essere invece lo stesso, solo un aspetto diverso di un'unica realtà.

L'inizio e la fine come punti di uno spazio geometrico diventano facilmente metafora della nascita e della morte dell'uomo, del suo vivere e del suo morire, del limite tra l'essere e il non essere, tra il divenire e la stabilità, una metafora insomma degli opposti che toccano più da vicino il senso dell'esistenza umana: essi, in un trattato medico, o in una tragedia, possono essere definiti, per l'analogia col cerchio, la stessa e identica cosa. La riflessione su questi aspetti di complementarità ha da sempre appassionato e disorientato l'uomo; nelle proprietà dei contrari si è trovata una spiegazione tale da soddisfare il *logos*: il cerchio è servito spesso da esemplificazione.

All'idea del ciclo e del cerchio sono riconducibili pertanto varie formulazioni, con cui sono state compendiate nel corso della storia idee e concezioni, in diversi ambiti della ricerca e dell'indagine speculativa. Nella cultura greca, si può dire schematizzando e semplificando, il cerchio è sentito come la figura perfetta (i suoi punti estremi sono tutti equidistanti dal centro), la più bella tra le figure piane (tra le solide lo è la sfera): la circolarità esprime l'intero, l'unità, la compiutezza, la continuità, la stabilità.

Il cosmo è preferibilmente pensato come una superficie piana racchiusa da un orizzonte circolare, da un anello (si pensi al fiume Oceano), o come un intero sferico (generalmente sono ricorrenti nelle cosmologie antiche le immagini dell'orizzonte circolare, della cupola emisferica, del disco, del guscio, dei cerchi primari e concentrici); la rotazione degli astri esprime un movimento divino, è la migliore misura del tempo.

Il movimento circolare è un movimento basilare insieme con quello rettilineo (il movimento misto è una combinazione di entrambi): il primo è, secondo la definizione aristotelica, uno, continuo e infinito, va da un punto verso lo stesso punto, è semplice e perfetto, uniforme e compiuto. Il secondo è invece discontinuo e finito, va da un punto verso un altro punto, è duplice e composto, o imperfetto e corruttibile; essenzialmente esso comporta una sosta (quando si torna indietro), un'interruzione che spezza la compiutezza del movimento (vd. *Fisica* VIII 8, 261 b 27-9, 266 a 9; *Cielo* I 2, 268 b 14-269 b 17; II 4, 286 b 10-287 a 11). Jean-Pierre Vernant segue il formarsi e il consolidarsi in Grecia di una concezione sferica dell'universo, e di una concezione geometrica e matematica dello spazio; stabilisce inoltre confronti con strutture politiche e sociali, in cui il cerchio e il suo centro hanno una

fondamentale funzione, e con le immagini mitiche del centro e del cerchio (1978, pp. 201 ss.; 218 ss.; 243 ss.). Anche il ragionamento circolare, che parte da un punto per ritornarci, può essere considerato in modo positivo; circolarmente possono essere immaginati lo svolgimento della storia e delle vicende umane, lo scorrere del tempo. Nell'arte, in particolare nell'architettura e nell'urbanistica, sia a livello di pratica attuazione, sia a livello di astratta elaborazione di modelli ideali e utopici, le concezioni legate al cerchio e alla sfera hanno un'influenza ben ravvisabile.

Lessico e stile

L'interesse maggiore di questo trattato, dal punto di vista lessicale, sta nel fatto che esso ci permette di documentare il lento evolversi di una terminologia geometrica. Il problema dell'uso di un linguaggio tecnico fondato su conoscenze condivise e accettate da tutti rientra in quello più ampio dell'organizzazione della ricerca e della comunicazione dei suoi risultati nel mondo antico, e del rapporto tra la parola e la realtà cui essa viene applicata, rapporto variamente sentito e motivato nei diversi autori.

Lo sforzo di creare un lessico tecnico, per l'ambito specifico della ricerca di volta in volta condotta, è comune a tutte le opere minori del *C. A.* ed è in accordo con la costante attenzione rivolta da Aristotele al linguaggio (per lo stretto legame tra la sua riflessione sul significato e sulle diverse accezioni delle parole, sulla struttura della lingua e la sua speculazione filosofica), e al lessico delle varie *technai*, di cui egli segnala spesso la mancanza o l'imprecisione[86]. Il tentativo appare in ogni caso limitato e parziale, e non perseguito con coerenza.

Uno studio sistematico delle locuzioni, dei termini e dei tempi verbali usati in questo trattato potrebbe andare a vantaggio non tanto della discussione sull'autenticità, per il motivo che si è detto, quanto di un ampliamento dell'indagine relativa ai linguaggi settoriali: nel lessico della terminologia geometrica, curato da Charles Mugler (1958), l'indicazione dei significati tecnici che i vari termini assumono nei trattati di matematica e di geometria a partire da Euclide sono seguiti da un breve accenno alla loro presenza e al loro uso negli autori

precedenti, in particolare in Platone e in Aristotele, ma non viene proposto mai alcun rinvio alla *Meccanica*. Questa opera invece rappresenta, come si è detto, un importante anello di congiunzione tra la speculazione del periodo classico e quella del periodo ellenistico: si colloca in un momento di transizione, ricco di fermenti. La sua stessa impostazione che cerca di coniugare fisica e geometria, e la scelta di un assunto geometrico come principio esplicativo costantemente applicato, senza riferimenti a regole di misurazione o a precise quantità numeriche e a quantificabili proporzioni, costituiscono un limite, se pensiamo a un moderno concetto di opera scientifica. Tuttavia, nel contesto storico in cui l'opera è stata scritta, essa ha un'importante funzione in quanto raccoglie una cospicua eredità, e la arricchisce nello stesso tempo di dati osservativi e teorici, così da essere opera inaugurale di una serie di trattati, e ponte tra la pratica, le conoscenze artigianali e la speculazione teorica, ponendo le basi di una meccanica scientifica. Il lettore che conosce la geometria euclidea noterà subito una prima analogia nell'uso delle formule introduttive delle dimostrazioni geometriche, oltre che nel più comune impianto deduttivo.

L'ordine in cui si succedono le varie questioni potrebbe apparire a un primo sguardo del tutto casuale; in realtà, si intravede talora un legame argomentativo. L'unità è realizzata dal continuo rimando alla stessa causa, al principio fondante e unificante del cerchio, che spiega i diversi fenomeni e congegni, individuata, come si è detto, nelle proprietà del cerchio, e nel principio della maggiore velocità dei punti del raggio più distanti dal centro. La dimostrazione è spesso incompleta o parziale, quasi solo abbozzata, come se costituisse un avvio per un approfondimento orale, nell'ambito della scuola, e offrisse una serie di appunti e di schemi argomentativi da sviluppare e commentare, un promemoria per una presentazione più articolata, una esercitazione su un tema. Sembra infatti che l'autore non si preoccupi di elaborare il materiale; non spiega le accezioni di alcuni termini che pure sono fondamentali per la corretta comprensione, né si sofferma su nozioni basilari.

Le teorie e i concetti di riferimento, che sarebbero determinanti per la chiarezza del discorso, non sono richiamati esplicitamente, né discussi forse perché presupposti come noti: egli sembra rivolgersi a chi già sa, o a chi può seguire anche il ragionamento esposto oralmente, non solo attraverso la lettura. Ciò che interessa all'autore è stabilire dei punti fermi per una dimostrazione, indipendentemente dalla sua completezza. Il modo di esporre è poco organico e accurato, lo stile è fortemente brachilogico; l'argomentazione è molto spesso affrettata e vaga, o imprecisa e incompleta, più vicina all'andamento di un'esposizione orale che a una più compiuta elaborazione; per tutto questo, l'interpretazione di alcuni quesiti è spesso difficile e controversa. Queste caratteristiche accomunano la *Meccanica* agli altri trattati minori del *C. A.*: la minore presenza in essa di digressioni, di esempi esplicativi, realizza all'interno delle singole questioni una maggiore compattezza; la successione di quesiti diversi conferma tuttavia la tendenza del Peripato a esplorare campi diversi di indagine, applicando gli stessi principi interpretativi.

Charles Mugler nell'introduzione al suo studio sulla terminologia geometrica dei Greci osserva: «Quand on lit les grands classiques de la géométrie grecque, ou les épigones, l'instrument linguistique de la géométrie grecque donne au lecteur la même impression que la géométrie elle-même, celle d'une perfection sans histoire» (1958, p. 7). Lessico e mezzi espressivi perfettamente adeguati ai contenuti hanno inoltre reso possibile la sua straordinaria stabilità nel tempo: la letteratura geometrica è una delle eredità intellettuali più feconde della cultura greca. Gli *Elementi* di Euclide costituiscono la prima opera completa che ci sia pervenuta[87] e la compiuta manifestazione di un pensiero matematico che nasce tuttavia molto prima[88]. Nella storia dello sviluppo di questo pensiero e della formazione del lessico, adatto a esprimerlo, occupano un posto significativo anche alcuni passi delle opere di Platone[89] e di Aristotele, che non solo accenna a singole dimostrazioni e teoremi, ma discute anche i principi del metodo scientifico attingendo a questo ambito di ricerca, lasciandoci intravedere il lavoro compiuto e il retroterra filosofico dei matematici studiati[90].

Anche la *Meccanica* offre materiale per lo studio della formazione di una terminologia geometrica. Per una esaustiva valutazione del suo lessico e della sua sintassi sarebbero necessari un confronto sistematico con i numerosi passi matematici delle opere sicuramente autentiche di Aristotele, e un'analisi estesa a ciò che resta della produzione matematica precedente, proveniente da fonti di diverso carattere e di epoche diverse, spesso tarde. Qui, i singoli termini utilizzati e i più ricorrenti mezzi espressivi saranno brevemente esaminati e discussi nel commento. Preliminarmente richiamo l'attenzione sull'uso, tipico della geometria e ricorrente anche nella *Meccanica*, dell'imperativo perfetto passivo, e delle lettere per indicare, punti, linee, angoli, figure: si tratta di una formula e di una consuetudine che ci sono familiari, ma su cui è opportuno soffermarsi per il loro significato e le loro implicazioni.

Mugler collega la sintassi del verbo nei testi matematici all'idealismo della geometria greca. Quando si parla di 'costruzione' di una figura, il geometra greco non intende la stessa cosa che intendiamo noi, se non raramente: «Pour le géomètre grec la figure, même si ses propriétés sont encore à démontrer, préexiste à toute intervention humaine, et la construction d'une figure est pour lui bien plus la prise en considération successive de parties de la figure existant indépendamment de lui que la création de ces parties par des opérations qui sont son oeuvre» (1958, p. 19).

L'uso della diatesi passiva, senza indicazione dell'agente, e del perfetto sarebbe espressione di questa concezione, per cui le 'verità geometriche' sono dotate di 'una esistenza anteriore': l'imperativo della terza persona del perfetto passivo costituisce così «le moyen par excellence par lequel les géomètres grecs essaient de soustraire l'objet géométrique à toute apparence d'une intervention humaine» (p. 20). Con la forza propria dell'imperativo, linee e figure sono considerate come già realizzate nel momento in cui il geometra vi si ferma col suo ragionamento[91].

L'accento posto da Mugler sull'idealismo si connette con un'altra e discussa questione che riguarda il rapporto tra Euclide e la filosofia di Platone[92]; nell'*Eutidemo*[93], si afferma

che i geometri non costruiscono le figure geometriche, ma le scoprono; evitare il riferimento a 'costruzioni' che si stanno facendo, oltre a riconoscere alla figura geometrica lo statuto di oggetto già esistente, dà probabilmente anche più valore a una visione preferibilmente mentale di un 'fatto'. Altre considerazioni sono d'altra parte necessarie, e attengono all'uso della scrittura nella dimostrazione geometrica, al rapporto tra l'esecuzione dell'operazione grafica e l'argomentazione che vi è collegata, scritta o orale[94]. Giuseppe Cambiano avanza l'ipotesi che l'uso dell'imperativo perfetto passivo dipenda «dal fatto che nella figura che affianca il testo scritto dell'argomentazione queste operazioni sono effettivamente già compiute e la figura le esibisce come già compiute fin dall'inizio agli occhi del lettore o di un ascoltatore che segue la lettura della dimostrazione su una figura già disegnata»[95].

A figure e diagrammi, Aristotele fa riferimento spesso nelle sue opere[96]. Indicativo del modo in cui egli intende il loro rapporto con la dimostrazione è un passo della *Metafisica*: «Anche i teoremi di geometria – τὰ διαγράμματα – si dimostrano per mezzo dell'atto, infatti si dimostrano operando delle divisioni nelle figure. Se queste divisioni fossero già operate, quei teoremi sarebbero immediatamente evidenti; invece, sono contenute nelle figure solamente in potenza. Perché gli angoli del triangolo assommano a due retti? Perché gli angoli intorno a un punto su una retta sono uguali a due angoli retti. Se, infatti, fosse già tracciata la parallela ad un lato del triangolo, alla semplice visione della figura la cosa risulterebbe immediatamente evidente. Ancora: perché l'angolo inscritto in un semicerchio è sempre retto? Perché se vengono tracciate tre linee uguali – ossia due che costituiscono la base e la perpendicolare condotta dal centro – la cosa risulta evidente alla sola vista della figura, per chi conosce la proposizione di cui sopra. È chiaro, dunque, che i teoremi geometrici, che sono in potenza, si dimostrano portandoli all'atto. La ragione di ciò sta nel fatto che il pensiero è atto»[97].

In un altro passo della *Metafisica*, Aristotele dà testimonianza di una discussa procedura di Eurito nel disporre sassolini su una figura; a proposito della causalità dei numeri, nei Pitagorici, si domanda: «Sono cause al modo di limiti, come

per esempio i punti sono limiti delle grandezze e al modo in cui Eurito stabiliva quale fosse il numero di una determinata cosa? Per esempio questo dato numero per l'uomo, quest'altro per il cavallo, riproducendo con i sassolini la forma dei viventi, nello stesso modo di coloro che riportano i numeri alle figure del triangolo e del quadrato»[98]. Analogamente, nella sua trattazione sulla locomozione e sul movimento degli animali interpreta come punti le giunture degli arti in movimento e individua figure geometriche, descritte nelle varie fasi; si chiede inoltre quale sia il numero minimo di punti con il quale gli animali possono muoversi[99]: la riduzione di un corpo a punto, nello spazio e nel tempo, o la sua localizzazione attraverso punti geometrici deve essere tenuta presente anche leggendo la *Meccanica*.

Più in generale, l'argomentazione geometrica di questo trattato è costantemente sostenuta dal riferimento a punti, linee, figure, indicati da lettere variabili, secondo una consuetudine ormai corrente ai suoi tempi nei testi di geometria: di esse Aristotele fa in genere largo uso in vari ambiti, nella fisica, nella biologia, nella logica[100]. In Euclide l'uso delle lettere è codificato in modo da corrispondere alle esigenze della stesura scritta degli *Elementi*, e alle richieste di un'immediata identificazione e di essenzialità, di un'asciutta, chiara e inequivocabile dimostrazione[101]. Nelle opere aristoteliche invece vi sono oscillazioni[102]; inoltre l'uso di lettere riferite a una figura non esclude un contesto anche orale, di insegnamento, in cui il testo destinato a una lezione poteva prevedere una figura tracciata. Questo appare con molta evidenza nella *Meccanica*, la cui struttura espositiva è peraltro ben lontana dal rigore euclideo, e molto più vicina all'andamento tipico di «una geometria di problemi»[103].

Il lettore della *Meccanica* è continuamente sollecitato a visualizzare figure che il testo presuppone, e che concorrono alla dimostrazione: assenti nei codici, esse sono state disegnate in epoca moderna e solitamente accompagnano le traduzioni e i commenti dell'opera.

L'azione del *graphein* rinvia non solo al tracciare una figura, ma anche al 'provare'[104]: il provare e il tracciare una figura

erano considerate operazioni strettamente connesse. Si pone così il problema del rapporto tra l'esecuzione delle operazioni grafiche geometriche e le sequenze argomentative che esse comportano: in particolare, nel caso dell'esecuzione, è forse richiesta una fissazione scritta, anche temporanea su un qualsiasi supporto; ci si è chiesti pertanto se l'argomentazione dovesse necessariamente prendere una stabile forma scritta o potesse anche essere affidata a una comunicazione orale[105].

Considerando l'andamento argomentativo della *Meccanica*, che rinvia continuamente al farsi di una figura, cui è connessa una dimostrazione spesso non compiuta e carente di dettagli, più accennata che esaurientemente svolta, si potrebbe pensare che questo testo rappresenti uno stadio del *graphein*, nel senso di accompagnare o definire più l'esecuzione delle operazioni geometriche che la sequenza argomentativa. Da valutare è in ogni caso anche il confronto con la struttura più tipica dei trattati minori, che, rispetto alle opere sicuramente autentiche, hanno un accentuato carattere di promemoria, e presuppongono un contesto non soltanto scritto.

Physis e *techne*

La distinzione proposta all'inizio del trattato tra fenomeni che accadono *kata physin* e quelli che accadono *para physin* viene riferita nel seguito dell'argomentazione soltanto al movimento; essa è stata pertanto collegata all'opposizione tra moto 'naturale' e moto 'violento', delineata e discussa nelle opere di Aristotele, in cui si analizza il movimento dei corpi: il nesso *para physin* è stato così sentito equivalente dell'avverbio *bia*[106]. Già i commentatori e i traduttori rinascimentali si sono posti il problema dell'interpretazione del nesso *para physin*; la resa *contra naturam* è sembrata non pienamente rispondente al valore di *para physin* in questo contesto: alcuni hanno preferito intendere *praeter naturam*[107].

I commentatori rinascimentali si sono impegnati a rettificare l'opposizione 'secondo natura' e 'contro natura' del prologo, ricorrendo ad altri luoghi aristotelici: il concetto che l'arte imita la natura tende a sfu-

mare la nettezza dell'opposizione. Si argomenta che l'arte non sconvolge la natura, ma la volge a profitto dell'uomo: si tratta di convertire la natura e non di opporle dei principi che non sarebbero naturali. Si fa allusione in particolare a un passo della *Fisica* (II 8, 199 a 15 s.), e più generalmente a un luogo comune del pensiero antico, suscettibile di varie interpretazioni e connesso con il problema dell'autonomia della tecnica. Ci si appella anche all'autorità di Vitruvio (*Architettura* X 1, 4) secondo cui «tutti i congegni meccanici devono la loro origine alla natura» (vd. Fleury 2005, p. 186 s.).

Nel Rinascimento il rapporto tra arte e natura si impone come essenziale. È significativo notare la convergenza tra concezioni di Galileo e l'argomentazione di alcuni commentatori rinascimentali, convergenza che si spiega con la comune temperie culturale (Galileo conosceva in ogni caso alcune traduzioni e alcuni commenti della *Meccanica*, vd. Festa/ Roux 2001, p. 239 ss.; Helbing 2001, p. 225 ss.; Gatto 2002, pp. XXXIV ss.; LXX ss.). Uno dei problemi dei commentatori del XVI secolo fu anche quello di definire il rapporto tra meccanica e fisica. Il modo in cui le distinguono, e le integrano nel sistema delle scienze aristoteliche, è compiutamente esaminato da Laird (1986; 2000; vd. anche Laird/ Roux 2008), che mette in evidenza come il problema avesse anche dei risvolti istituzionali nell'insegnamento.

Gatto (2002, p. LXX ss.) osserva che le diverse interpretazioni di *para physin* nei commentatori rinascimentali sono una testimonianza quanto mai preziosa della posizione epistemologica di questi autori rispetto alla teoria aristotelica dei 'luoghi naturali', e in particolare rispetto alla distinzione tra fenomeni 'naturali' e fenomeni 'violenti'. Solo con Galileo si realizza tuttavia il pieno superamento della teoria dei luoghi naturali (p. LXXXIV ss.); nelle *Mecaniche*, non si distingue tra arte e natura: i fenomeni meccanici sono fenomeni naturali, non avvengono contro natura, anzi è impossibile fare cose contro natura, non si può operare contro l'ordine naturale delle cose, non si può ingannare la natura. Il vero rovesciamento operato da Galileo sta nella formulazione del principio conservativo (o compensativo) con cui spiegare il funzionamento delle macchine; sulla sua origine (in parte anche aristotelica), vd. Rose/ Drake 1971, p. 95; Krafft 1990, p. 54 ss.; Micheli 1995, p. 147 ss.; Helbing 2001, pp. 229 ss. e 232 s.; Gatto 2002, pp. LXXXV s.; CXX.

Se il concetto di movimento violento, nel senso di movimento 'forzato', indotto da una causa esterna può adattarsi e avvicinarsi a quello di *para physin*, bisogna notare che l'autore della *Meccanica* non è in genere interessato a specificare chi e che cosa costituisca di volta in volta il 'motore'. È invece più

interessato a sottolineare l'importanza, per la correttezza della dimostrazione, che la forza motrice sia equivalente, nei diversi casi. L'autore si preoccupa di dare al comportamento delle macchine una base matematica; d'altra parte, sia le cose naturali, sia quelle che sono il prodotto della *techne* richiedono un'indagine sulle cause: esiste una comune intelaiatura causale che accomuna oggetti naturali e oggetti 'meccanici', spiegati con gli stessi principi, e strutturalmente simili.

I fenomeni che accadono *para physin* sono, nel ristretto ambito tematico della *Meccanica*, quelli dovuti alla *techne* e finalizzati al beneficio che l'uomo possa trarne. Si configura così un confronto (breve ma significativo, se si pensa a sviluppi futuri) tra *physis* e *techne*, che si inserisce con una propria caratterizzazione nell'ambito di una più ampia e articolata riflessione sul loro rapporto; da quanto l'autore aggiunge nel definire questi fenomeni (*hosa ginetai dia technen*, 847 a 2 s.), si può stabilire un parallelismo tra i nessi *para physin* e *dia technen*.

La contrapposizione è netta, ma non deve essere né assolutizzata, per spiegare una più radicale separazione tra meccanica e fisica[108], né minimizzata o annullata, nel tentativo di scorgere in questo trattato una concezione moderna della meccanica[109]: essa ha una precisa funzione sia nel saldare l'argomento a una tradizione, sia nel dare evidenza alla *mechane*.

La nostra espressione 'contro natura' corrisponde solo approssimativamente al nesso greco *para physin*: il termine *physis*, come noto, non ha un significato univoco; d'altra parte, nell'ambito della *physis*, pur dominato dalla regolarità e dalla necessità, possono verificarsi fenomeni accidentali, casuali o spontanei, non attesi e spesso imprevedibili.

Anche in Aristotele, le accezioni di questa parola sono molteplici[110]: solo il contesto permette di coglierne l'esatta valenza. Nella *Fisica*, la nozione di *physis* è collegata essenzialmente a ciò che ha in sé stesso il principio del movimento: la *physis* è fonte e causa del movimento. «Delle cose che esistono, le une sono da natura, le altre da altre cause. Da natura sono gli animali e le loro parti, le piante e i corpi semplici, come ad esempio la terra, il fuoco, l'aria e l'acqua; infatti questi

e gli altri corpi dello stesso tipo, noi diciamo che sono da natura [...] È manifesto che tutte le cose che sono da natura hanno il principio del movimento e del riposo in se stesse – ἕκαστον ἐν ἑαυτῷ ἀρχὴν ἔχει κινήσεως καὶ στάσεως, le une secondo lo spazio – κατὰ τόπον, le altre secondo crescita e diminuzione – κατ᾽ αὔξησιν καὶ φθίσιν, altre ancora secondo l'alterazione – κατ' ἀλλοίωσιν. Invece un letto o un mantello, e ogni altro oggetto di questo genere, in quanto a ciascuno di essi compete questa denominazione (e cioè in quanto sono prodotti da tecnica – ἀπὸ τέχνης), non possiede in se stesso nessuna tendenza innata al cambiamento – οὐδεμίαν ὁρμὴν ἔχει μεταβολῆς ἔμφυτον; ma essi hanno un tale impulso e tanto esteso, solo in quanto sono di pietra o di legno, o di qualcosa di misto; allora la natura è principio e causa dell'essere in movimento e dello stare in riposo di ciò cui essa appartiene originariamente, per sé stessa e non in modo accidentale – ὡς οὔσης τῆς φύσεως ἀρχῆς τινὸς καὶ αἰτίας τοῦ κινεῖσθαι καὶ ἠρεμεῖν ἐν ᾧ ὑπάρχει πρώτως καθ᾽αὑτὸ καὶ μὴ κατὰ συμβεβηκός»[11].

Questo passo della *Fisica* è sufficientemente riassuntivo di alcuni temi ricorrenti nella ricchissima indagine aristotelica sul divenire e sul moto (definizione di natura e rapporto con la *techne*, con i concetti di 'movimento' e di 'cambiamento', con la nozione di 'impulso', che diventerà sempre più centrale e determinante nei commentatori dell'opera aristotelica), e soprattutto pone una distinzione più generalmente valida (tra le cose che esistono per natura e quelle che esistono per altre ragioni) e di carattere causale: oggetti naturali contengono in sé il proprio principio (*arche*) di crescita, di movimento e 'quiete'; gli oggetti artificiali non hanno invece questi principi all'interno, oppure li hanno solo in modo derivato. Qui Aristotele fa riferimento ai prodotti della *techne* portando l'esempio di oggetti comuni, il letto e il mantello, che sono il risultato di un fare artigianale in cui sono implicate certamente determinate abilità ma non necessariamente o esplicitamente una *metis*, una *mechane* specifica, come invece si afferma con chiarezza nel prologo della *Meccanica*, che anticipa con il concetto di *techne* quello di *mechane*.

Altre volte, Aristotele trae esempi dal mondo della produzione che noi definiamo 'artistica' in senso proprio, e fa riferimento all'attività di scultori e di pittori; in genere, egli attinge a tutto il diversificato mondo delle *technai* per esemplificare e chiarire il proprio pensiero[112]. Il confronto implica di volta in volta approfondimenti dei concetti di forma e di materia, di sostanza, di causa e di fine, di imitazione, di 'normale' ('per lo più') e di 'accidentale', di 'interno' ed 'esterno', di 'naturale' e di 'acquisito'[113]. In relazione a questi concetti, tra *physis* e *techne* sono individuate complesse e specifiche differenze, ma anche una comune attività, quella 'generativa' in senso lato[114], attività connessa col 'divenire' e implicante 'movimento' e 'mutamento'. Anche la *techne* può essere principio di movimento e di trasformazione, ma secondo una modalità profondamente diversa, in quanto solo la *physis* ha in sé il principio del movimento; nei prodotti della *techne* esso è invece estrinseco: «Le sostanze si generano o per arte o per natura o casualmente o spontaneamente. L'arte è principio di generazione estrinseco alla cosa generata; la natura è, invece, principio di generazione intrinseco alla cosa generata»[115]. Esiste quindi un rapporto analogico (e una complementarità) tra l'operare della natura e l'attività dell'uomo[116], rapporto che in Aristotele va ben oltre il valore esemplificativo, essendo più generalmente espressione di una visione biologica dei fenomeni, tipicamente greca. Confrontabili sono i processi e anche gli oggetti, pur rimanendo distinta la causa, che nella natura è intrinseca[117].

L'arte imita la natura[118], e può contribuire alla sua conoscenza fornendo modelli per l'indagine: i fenomeni naturali e i fenomeni artificiali possono essere trattati parallelamente, e i secondi servono a capire e a interpretare i primi. L'arte inoltre può portare a compimento ciò che per la natura è impossibile compiere[119]. Anche nei trattati minori, l'osservazione dei processi artificiali è utile per conoscere i processi naturali che altrimenti rimarrebbero nascosti: nei *Colori*, la tecnica di tintura diventa un punto di riferimento, per capire la formazione dei colori, un modello esplicativo; nei *Suoni*, l'autore spazia in molti campi tecnici (musica, ottica, balistica, carpenteria,

idraulica, pittura, bronzistica) alla ricerca di esempi che sostengano la propria argomentazione[120].

Nella *Meccanica* la natura appare in netto contrasto con l'arte, che invece di operare come la natura, la travalica, e non in vista di un completamento, ma di un rovesciamento paradossale. La distinzione si attua nell'ambito del concetto di 'vantaggio', di un beneficio per l'uomo, che si identifica come fine[121]: solo l'arte è capace di adeguarsi al mondo mutevole delle necessità contingenti, contrapposto all'ordine immutabile della natura[122]. Questa visione si accorda con una tendenza a dare valore alle singole arti, che passano dal livello dell'oralità a quello della scrittura, ben rappresentata nei trattati minori e frutto di precise condizioni storiche e sociali, che determinano in vario modo la focalizzazione su di esse. D'altra parte, il rilievo che viene dato alla *techne* si configura in modo del tutto peculiare in questo trattato rispetto alle altre opere di scuola, data la prospettiva antropologica da cui l'autore considera la *techne*, implicitamente collegata a un altro *topos*, cioè all'avanzamento culturale[123].

Nei *Colori*, l'autore distingue tra i colori che si producono in natura, attraverso la luce, e le miscele colorate dei pittori, e insiste sulla necessità di studiare i colori così come si manifestano in natura (2, 792 b 16-21), secondo un ordine, una regolarità e una finalità, e in relazione a cause, disposizioni e tempi precisi. Nei *Suoni*, vengono analizzati sia la voce umana, sia i suoni che si producono in natura, sia quelli che provengono dagli strumenti musicali, individuando analogie nelle cause e negli effetti; nella *Fisiognomica*, l'oggetto di indagine (i tratti fisici) viene definito tenendo conto della distinzione tra 'naturale' (*physikos*) e 'acquisito' (*epiktetos*): «le opinioni e le conoscenze che uno possiede non possono far riconoscere in lui il medico o il suonatore di cetra: chi ha appreso una scienza non cambia affatto i tratti utili al fisiognomico [...] la fisiognomica si occupa, come dice il suo nome, delle qualità mentali connaturate, e delle acquisite solo se queste vengono ad aggiungersi modificando i segni oggetto dell'indagine fisiognomica» (806 a 15-18; 22-25; per l'opposizione tra 'naturale' e 'acquisito' vd. per es. *Topici* III 1, 116 b 11 s.; *Riproduzione d. an*. I 17, 721 b 29 s.; *Poetica* 16, 1454 b 21 ss.; *Problemi* V 14, 882 a 22; 21, 883 a 7). Una singolare svalutazione dell'operato della natura, ma anche dell'arte, si legge in un passo dei *Problemi*, dove peraltro si distingue tra una natura che si

manifesta all'inizio e una in cui culmina il processo di sviluppo, e dove si contrappongono il 'domestico', migliore, e il 'selvaggio', peggiore (X 45, 895 b 23-896 a 11; cfr. XX 12, 924 a 1 ss.). Molto interessante è l'argomentazione relativa ai mezzi di cui l'uomo dispone per natura, e alle conoscenze e alle abilità pratiche che sono frutto del suo impegno (vd. XXX 5, 955 b 22-956 a 10; cfr. 8, 956 a 28-b 5). La tradizionale marginalità delle *technai*, in quanto attività cui si è costretti per necessità, riaffiora invece in un altro quesito, vd. XXX 10, 956 b 11-15.

L'autore all'inizio pone l'accento sull'utilità della *techne*, e sulla possibilità che essa prevalga quando si presentano difficoltà operative. In questo senso, diventa funzionale la contrapposizione con la *physis*, mettendo in rilievo il concetto di *mechane*; l'autore le confronta nel ristretto ambito dell'utilità contingente: la *techne* non è tanto un completamento, né un prolungamento della capacità produttiva, ma un principio di mutamento[124]. Ciò corrisponde a una tendenza, peraltro già emersa alla fine del V secolo, a considerare la *techne* nella sua specifica funzione[125]: l'indagine sulle cause e l'evidenza data al principio fondante, nei fenomeni studiati, riconducono a un'impostazione prettamente aristotelica, e la collegano a un sapere superiore[126]. La *techne* crea, potremmo dire, una regolarità parallela, nel momento in cui si individua la causa che rende logico l'effetto.

L'opposizione stabilita dall'autore è netta, ma nel contesto retorico del prologo essa serve a dare ampio spazio alla *techne* e alla *mechane* che ne costituisce una 'specie', e ad anticipare il tenore delle domande seguenti; svolge pertanto una funzione di appoggio all'esposizione, e offre un criterio espositivo oltre che interpretativo. D'altra parte, l'autore non discute questa opposizione dal punto di vista teorico; la assume essenzialmente come principio argomentativo, e dà invece rilievo ai *mechanika problemata*, come forma specializzata del sapere. Nel prologo non si parla ancora di oggetti meccanici, ma di problemi meccanici: l'accento è posto sul metodo e sul 'sapere perché', sebbene in modo molto compresso e teoricamente non sviluppato.

I movimenti 'secondo natura' sono, nel mondo sublunare, in relazione con i luoghi 'naturali': il fuoco, l'elemento più

leggero, va 'secondo natura' in alto, 'contro natura' in basso; l'inverso vale per la terra, l'elemento più pesante[127]. Il movimento di un corpo può avvenire dunque in due direzioni contrarie; al moto che si realizza *physei* o *kata physin*, Aristotele oppone il moto 'contro natura' o 'per costrizione', in cui possono essere implicati un agente esterno, una condizione accidentale, un impedimento, una deviazione: nell'argomentazione sono determinanti i concetti di atto e di potenza[128].

L'interesse di Aristotele nella *Fisica* è rivolto alla causa (o alla condizione) del mutamento, interna o esterna: anche in base a questo il movimento sarà definito *kata physin* o *para physin*. Genericamente, non esiste un movimento 'contro natura' in assoluto o tale da non rientrare nell'ordine più generale[129].

Il problema di spiegare il meccanismo che impartisce la forza e mantiene il movimento è ripetutamente posto in tutta l'antichità. Aristotele non isola concettualmente la nozione di forza dalla sostanza cui inerisce (vd. Carteron 1975, p. 168 s.); ritiene pertanto che un agente possa agire sul suo oggetto solo per contatto (nella *Fisica* VII 2, tutte le specie di movimento vengono ridotte alla spinta e alla trazione). Non può esserci per Aristotele azione a distanza; in più, in relazione alla distinzione tra movimento 'naturale' e 'forzato', tutti i movimenti devono originarsi da un agente per cui l'azione è propria e naturale. (Sull'azione a distanza si discusse vivacemente in epoca moderna: Goethe compose una scherzosa poesia, *Wirkung in die Ferne*, in forma di ballata – 1825).

«Tutte le cose che sono in movimento, sono mosse da qualcosa. E questo s'intende in modo duplice: infatti, o il motore non muove per se stesso, ma a causa di qualcos'altro che a sua volta muove il motore, oppure muove a causa dello stesso motore. E questo, o in quanto il motore è immediatamente prima dell'ultima cosa, oppure in quanto possono esservi più motori intermedi: ad esempio, il bastone muove la pietra, e esso è mosso dalla mano, che è mossa a sua volta dall'uomo, mentre quest'ultimo muove senza essere mosso da altro. Di entrambi, cioè sia dell'ultimo motore come del primo, diciamo che muovono. Ma muove soprattutto il primo: questo infatti muove l'ultimo, mentre l'ultimo non muove il primo e, senza il primo motore, l'ultimo non potrà muovere, mentre il primo può muovere anche senza questo: ad esempio, il bastone non potrà muovere, se esso non sarà mosso dall'uomo. Se dunque tutto ciò che è in movimento, è mosso da qualcosa – sia o meno quest'ultimo mosso a sua volta da qualcosa mosso o meno da al-

tro –, di necessità allora vi è un motore primo che non è mosso da altro [...] Lo stesso argomento si può sviluppare in questo modo. Tutto ciò che muove, muove qualcosa e mediante qualcosa; ciò che infatti muove, muove o mediante sé o mediante altro: ad esempio, l'uomo o muove egli stesso direttamente, o mediante il bastone; e il vento colpisce o direttamente o indirettamente mediante la pietra che esso ha sollecitato. È invece impossibile muovere senza che vi sia un qualcosa di mosso che muove a sua volta sé, da se stesso. Ma se esso muove se stesso da sé, non è necessario che vi sia un'altra cosa per mezzo della quale esso muova; mentre, se esso muove servendosi di un'altra cosa, vi è tuttavia qualcosa che muoverà non per mezzo di qualcosa, ma da se stesso; in caso contrario si andrà all'infinito. Se dunque ciò che è motore, è a sua volta mosso, è necessario arrestarsi e non procedere all'infinito. Se infatti il bastone muove per il fatto di essere mosso dalla mano, la mano muove il bastone; ma se, a sua volta, qualcosa d'altro è ciò che muove questa, vi sarà allora un motore diverso da questa» (*Fisica* VIII 4-5, 256 a 2-32). Si può descrivere come causa del movimento sia quella prossima sia l'ultima, ma solo l'ultima è propriamente la causa. In questa attività causale, è essenziale la nozione di contatto.

Nella *Meccanica*, la distinzione tra i due movimenti sembrerebbe un modo per tenere distinte fisica e meccanica, che si occupano entrambe di movimento, ma diversamente orientato; d'altra parte la loro coesistenza nel cerchio, pur se sorprendente, rappresenta già di per sé un superamento dell'aporia. La distinzione tra i due movimenti non è mai discussa, ma semplicemente funzionale alla dimostrazione: essa non crea una cesura tra 'naturale' e 'artificiale', come si è voluto sostenere, ma contribuisce a definire l'ambito specifico di applicazione della *techne*: quello dell'utilità e della volontà umana. L'autore separa i due ambiti, ma oggetto della sua indagine saranno sia oggetti 'meccanici' sia oggetti naturali: ciò che li accomuna è la possibilità di essere spiegati entrambi con un unico principio, quello del cerchio. Fisica e meccanica, pur separate, si ricongiungono, quando ai loro oggetti si applichi un principio matematico di interpretazione.

Mechane

Le osservazioni sulla *techne* hanno lo scopo di preparare la definizione di *mechane* come una sua 'parte' (*meros*) che soc-

corre nelle difficoltà. La citazione che segue (da una tragedia di Antifonte) dà rilievo a quel capovolgimento degli effetti attesi (subito dopo si parla della vittoria del 'piccolo' e 'debole' sul 'grande' e 'forte'), delineato dall'autore, e possibile con l'acquisizione di specifiche abilità e capacità da parte dell'uomo[130]. Così ottenuta, la vittoria dell'uomo si inserisce anch'essa in un ordine, seppure diverso, in un rapporto causale chiaro e motivabile: la 'meraviglia' si ferma al primo stadio, alla domanda, per chi intraprende l'indagine e scopre le cause, mentre continua per chi le ignora.

La *mechane* diventa quasi una 'specie' di un sapere specializzato e organizzato (nei limiti che sono propri del mondo antico), che ha per fine il raggiungimento di un obiettivo concreto, altrimenti irraggiungibile, ma che si pone anche accanto a discipline come la scienza naturale e la matematica che descrivono e spiegano i fenomeni. L'intento pratico non si affianca a quello teorico, ma resta subordinato all'individuazione delle cause, a una tendenza speculativa che sopravanza quella applicativa: ciò costituisce una caratteristica preminente della *Meccanica* aristotelica, e rientra in una più generale peculiarità della scienza greca rispetto a quella di altre civiltà. Anche Archimede, secondo la testimonianza di Plutarco, si era dedicato alle sue 'macchine' come a «divertimenti di geometria, che aveva fatto a tempo perso»; il re Ierone lo avrebbe sollecitato «a rivolgere un poco della sua tecnica dalle cognizioni teoretiche alle cose concrete e a mescolare la speculazione coi bisogni materiali» (*Vita di Marcello* 14, 8 – 305 d).

La nozione di potenza e di meraviglia, più che (o prima di) quella di inganno e di artificio, sembra aver quasi costantemente accompagnato la storia della meccanica, non solo di quella antica[131]. In Grecia, emerge nettamente anche l'aspetto ludico della macchina; la lingua greca, inoltre, opera una distinzione tra *organon* ('strumento') e *mechane*, concetto destinato a rimanere fondamentale nella civiltà occidentale. Lo strumento è essenzialmente un intermediario, il prolungamento di un arto o di una parte di un essere vivente che voglia e sappia usarlo, un'estensione e un'integrazione che si rendono

talora necessarie per potenziare una capacità propria, ma limitata, di un uomo o di un animale. La nozione di macchina appare invece più ricca e più differenziata, anche se nella comune esperienza possiamo avere qualche incertezza nel distinguere tra 'strumento' e 'macchina'.

L'uso dei termini μηχανή e ὄργανον meriterebbe uno studio approfondito e un'indagine ampia. Mi limito qui a proporre qualche rinvio all'uso di ὄργανον. Il termine non compare in Omero e in Erodoto, che impiegano vocaboli diversi per indicare lo strumento (vd. per es. Omero, *Odissea* 3, 432 s.: «arrivò il fabbro, con in mano gli arnesi – ὅπλ(α) – di bronzo, strumenti dell'arte – πείρατα τέχνης»; Erodoto III 131, 1: «Democede superò gli altri medici, sebbene fosse privo di strumenti – ἀσκευής – e non possedesse nessuno degli attrezzi – ἐργαλήια – necessari al suo mestiere»).

Nel *Cratilo* di Platone, come il trapano serve a perforare, e la spola a tessere, così anche il nome è uno strumento (ὄργανον) nel senso che esso ha un valore didascalico e serve per mettersi in contatto con le cose e con gli uomini (388 a-b). Cfr. *Repubblica* II 370 c-d: «Il contadino non si costruirà da solo l'aratro, se dev'essere ben fatto, né la zappa, né gli altri strumenti – ὄργανα – utili all'agricoltura. E neppure il muratore: anche a lui ne occorrono molti. Lo stesso si dica per il tessitore e il calzolaio»; *Ippia maggiore* 295 d; *Politico* 298 c-d: ὄργανα sono definiti gli strumenti musicali e delle *technai* in genere, e gli strumenti medici e nautici.

Il termine *organon* indica anche una qualsiasi parte funzionale di un insieme, a esso appartenente, non esterno e non aggiunto, e finisce per entrare nel linguaggio dell'anatomia e della fisiologia. Significativo è tra gli altri questo passo di Aristotele: «È possibile che l'uno dia impulso all'altro, questo ad un terzo e capiti come per le macchine – τὰ αὐτόματα τῶν θαυμάτων. Le parti in quiete posseggono una potenzialità e quando un agente esterno dà impulso alla prima subito la successiva si mette in attività. Come dunque nelle macchine – ἐν τοῖς αὐτομάτοις– in un certo modo l'agente mette in movimento, pur senza stabilire in quel momento alcun contatto, avendolo tuttavia avuto, in modo simile agisce anche colui da cui ha origine lo sperma o che ha prodotto lo sperma, avendo stabilito un contatto, ma senza più mantenerlo. In un certo modo l'impulso contenuto agisce come l'arte di costruire sulla casa [...] Le parti omogenee e quelle relative agli organi – τὰ ὀργανικά – si formano contemporaneamente; e come non diremmo che il solo fuoco abbia prodotto una scure o un qualsiasi altro strumento – ὄργανον, così non diremmo neppure per un piede o per una

mano, e allo stesso modo neppure per la carne, perché anch'essa ha una propria funzione [...] Il caldo e il freddo rendono duro o molle il ferro, ma la spada è il risultato di un impulso degli strumenti – τῶν ὀργάνων – provvisto del rapporto essenziale dell'arte» (*Riproduzione d. an*. II 1, 734 b 9-735 a 2 – si sta parlando della formazione dell'embrione; vd. anche *Politica* VII 16, 1336 a 10-12; *Generazione e corruzione* II 9, 336 a 9 e 12; *Meccanica* 848 a 35).

Sull'uso di *organon* e di *mechane* in Filone di Bisanzio, vd. Micheli 1995, p. 124 ss.; nel commentare il punto di vista di Alfred Espinas (1897), secondo cui i prodromi della moderna concezione delle macchine, e il progressivo affermarsi di una «philosophie de l'action» (p. 85 ss.; cfr. p. 45 s.) si avrebbero solo coi meccanismi automatici, essendo le macchine originariamente nient'altro che proiezioni di organi umani, Micheli afferma: «l'uso di ὄργανον non è quello originario di macchina, dato che ὄργανον come macchina si riscontra solo in età postaristotelica e solo in ambiti limitati» (p. 126).

Walter Belardi dà particolare rilievo alla distinzione tra le nozioni di 'strumento' e di 'macchina', soffermandosi sull'analisi formale e semantica dei rispettivi termini, dando rilievo alla loro differenziazione anche riguardo al genere (*organon* è neutro, *mechane* è femminile) e discutendo la distinzione operata da Vitruvio (2005, pp. 20 s.; 26-31; 39 s.). «Fra questi sistemi, alcuni sono azionati in modo meccanico, altri in modo strumentale – *Ex his sunt quae* μηχανικως, *alia* οργανικως *moventur*. La differenza fra macchine e strumenti sembra consistere in ciò: l'efficace funzionamento delle macchine dipende da una più numerosa mano d'opera e da una maggiore potenza – è il caso delle baliste e delle travi dei torchi – mentre gli strumenti eseguono ciò che ci si propone al tocco abile di un solo operatore [...] Tanto gli strumenti quanto i sistemi meccanici – *et organa et machinarum ratio* – sono dunque necessari a fini pratici: senza di essi niente può essere agevole» (*Architettura* X 1, 3).

Elisa Romano commenta: «Non possiamo stabilire se Vitruvio trovava questa distinzione in una fonte greca, ma la terminologia adoperata è incoerente, poiché oppone a una parola latina, *machina*, un grecismo come *organum*, che egli è il primo a usare sistematicamente [...] Si tratta inoltre di una distinzione sorprendente, perché non si riferisce in alcun modo al funzionamento delle macchine e degli strumenti, ma si fonda sul diverso numero degli operai [...] In ogni caso, la distinzione non appare operante all'interno del trattato». La distinzione sarebbe in relazione col tipo di prestazione richiesta: erogazione di molta forza, oppure sforzo calibrato, e in certa misura intelligente (1997, p. 1367 s., *ad loc*.; vd. anche Franco Repellini 1989; Simeoni 2005, p. 156 s.; Schürmann 1991, p. 35; Schneider 1992, p. 215; Fleury 1996, pp. 45, 51; 2005, p. 189 s.).

La lingua greca usa, nell'accezione di oggetto che si muove da solo, il neutro sostantivato *to automaton*, termine che finisce per confluire anch'esso nel concetto di macchina: in età ellenistica, i trattati dedicati alla costruzione di *automata*, di macchine semoventi, rappresentano una delle applicazioni più stupefacenti della meccanica.

Il termine *automatos* è detto di chi agisce di proprio impulso, da sé, senza costrizioni, spontaneamente. Nell'*Iliade* (2, 408) il termine è riferito a Menelao, alle porte del cielo (5, 749) e ai tripodi foggiati da Efesto (18, 376: vd. il testo citato all'inizio); in Esiodo, *Opere* 103, esso è usato in riferimento ai morbi. Altri manufatti di Efesto sono descritti come dotati di un movimento proprio, anche se per essi non si utilizza il termine *automatos*: si tratta delle statue animate che gli fanno da ancelle (18, 417 s.: «due ancelle d'oro sostenevano il loro signore, simili a vere fanciulle – ζωῇσι νεήνισιν εἰοικυῖαι»); dei suoi mantici che lavorano senza essere direttamente azionati (468-473: «tornò ai suoi mantici: li rivolse al fuoco e comandò loro di agire. I mantici, venti in tutto, soffiavano sopra i crogioli, mandando ogni tipo di refolo, che attizzasse il fuoco, che allorché si affrettava spirasse, altra volta smettesse, come Efesto voleva, concluso il lavoro»). L'idea di statue simili a viventi è ricorrente nelle teorie estetiche antiche, e nella produzione letteraria. Anche le navi dei Feaci « non hanno i timoni che hanno le altre, ma sanno da sole – αὐταί – i pensieri e la mente degli uomini, le città e i grassi campi di tutti conoscono, e traversano celeri l'abisso del mare avvolte nella foschia e in una nube: esse non temono mai di soffrire alcun danno o d'andare in rovina» (*Odissea* 8, 558-563; cfr. Apollonio Rodio, *Argonautiche* I 524 s.; IV 580-585).

Nel definire il valore primo di *automatos*, e nel sottolinearne la differenza con il nostro 'automatico', Belardi commenta, a proposito di «porte e tripodi del mondo degli dei», di «entità non-persone» fornite di «decisione e azione indipendente e autonoma – pur se sempre, però, al *servizio* degli dei»: «una meraviglia stupenda per il pubblico di allora, che ben conosceva il significato etimologico di αὐτόματος, che noi invece abbiamo perduto» (2005, p. 44 s.). L'autore richiama l'attenzione sulla vicenda semantica concernente 'automa' e 'automatico', sulla confusione corrente tra 'spontaneo', 'istintivo', 'meccanico' *e* 'automatico', sul rapporto tra 'macchinismo' (o 'meccanicismo') e 'automatismo', sui derivati moderni di *automatos* (pp. 42-55).

Come nel caso delle marionette si cercava di tener nascoste le mani che muovevano i fili per dare l'impressione che le marionette si muovessero da sé, così anche nel caso degli *automata* il meccanismo restava e doveva restare nascosto. Cambiano (2006, p. 185 ss.; 2007, p. 245 ss.)

richiama l'attenzione sul fatto che in questi, la mano non era una presenza costante, ma si limitava a imprimere l'impulso iniziale da cui si snodava la catena puramente meccanica dei movimenti successivi: negli *automata* c'è assenza di contatto fra l'operatore e le figure; la dimensione di trucco (*dolos*) associata in vari testi alla *techne* e alla *metis*, come forma di intelligenza astuta, era mantenuta. La meraviglia consisteva nell'imitazione (*mimesis*): entità costituite di materiali inanimati compivano movimenti e azioni proprie degli esseri viventi, si comportavano, apparentemente, come ciò che ha in sé un principio interno di movimento e di quiete, e si muove in vista di un fine.

Aristotele nella *Politica* osserva: «se ogni strumento fosse in grado di compiere la propria opera al semplice comando o presentendolo in anticipo e, come dicono che fanno le statue di Dedalo o i tripodi di Efesto, i quali secondo il poeta entrano da sé – αὐτομάτους – nel consesso divino, così da sé le spole tessessero e i plettri suonassero la cetra, coloro che sovrintendono ai lavori non avrebbero bisogno di coloro che li eseguono né i padroni di schiavi» (I 4, 1253 b 33-1254 a 1). Su ciò che noi oggi chiameremmo simulazione dell'intelligenza, e sull'importanza di questo passo nella lunga e attuale problematica che vi è connessa, vd. Cambiano 2006, p. 188 s.; cfr. Somenzi/ Cordeschi 1986.

La meraviglia indotta dagli effetti esterni, su cui puntavano i costruttori, come ricorda anche la *Meccanica*, si trasforma nell'interesse per il funzionamento e i meccanismi interni: Aristotele si è servito dell'analogia con gli *automata* e con la loro trasmissione automatica di una serie di movimenti in sequenza per spiegare i processi del movimento animale (*Moto d. an*. 7, 701 b 2-16; 24 ss.) e della generazione dei viventi (*Riproduzione d. an*. II 1, 734 b 7-17; 5, 741 b 7-15; cfr. I 1, 715 b 25-30; *Ricerche s. an*. V 1, 539 a 15 ss.; 15, 547 b 18 s.; 548 a 10 s.; 19, 551 a 1; VI 15, 569 a 25). L'analogia con gli *automata* serviva anche a schematizzare uno dei problemi più ricorrenti nella fisica antica: quello della trasmissione del movimento (anche nei *Suoni* si riflette la problematica relativa alla loro diffusione, vd. Ferrini 2008, pp. 178 ss; 189 ss.). Sia negli *automata* sia nel processo di generazione delle parti di un organismo vivente, occorrono due condizioni perché la potenzialità di muoversi passi all'atto: un agente, che per *contatto* imprima l'impulso iniziale, e una connessione tra le parti. L'analogia si ferma in ogni caso alla trasmissione del movimento locale: il movimento qualitativo e quantitativo rimane prerogativa del vivente.

La *techne* imita la natura; dato l'isomorfismo fra le produzioni tecniche e le produzioni naturali, il funzionamento dell'*artificiale* può chiarire aspetti del *naturale*. In quanto oggetti della produzione tecnica, gli *automata* perdono ogni aspetto di pura casualità e di assenza di regolarità, hanno una causa, che tuttavia viene occultata, rimanendo 'indeterminata' per chi guarda, senza conoscerla: in questo modo, i

movimenti della materia inanimata sorprendono e stupiscono. Si delinea così il rapporto con la nozione di *to automaton*, quale appare nella *Fisica* (II 4-6, 195 b 31-196 a 13). Vd. Kullmann 1998, p. 287 ss.; Cambiano 2006, p. 196: «Gli *automata* si pongono [...] come una sorta di doppio dell'evento *automaton*, casuale, raro e caratterizzato da una finalità inattesa. Con gli *automata* si era al punto estremo di oggetti tecnici che, occultando la loro natura tecnica, miravano ad apparire il diverso da sé, un mondo che possiede in sé e non riceve dall'esterno ciò che lo mette in moto, il punto estremo di una *techne* che ritrovava il massimo di imitazione della natura proprio nel cercare di non lasciare alcuna traccia visibile di se stessa negli oggetti della sua produzione».

Paolo Dario, delineando l'evoluzione della robotica moderna, vista come sintesi tra il sogno di imitare la natura e replicare l'uomo, e il bisogno di costruire macchine utili alla vita e al lavoro, la riconduce alla storia degli automi. Inquadra inoltre la ricerca svolta dagli ingegneri contemporanei in uno scenario che offre interessanti prospettive di collaborazione fra umanisti e scienziati: «La robotica rappresenta oggi un nuovo "paradigma tecnologico", che sta modificando radicalmente il ruolo che riveste l'ingegnere nel XXI secolo, e che potrebbe essere quello, opportunamente adattato all'era moderna, di un ingegnere rinascimentale, con una visione culturale più ampia, sia verso i diversi settori dell'ingegneria e della scienza, sia verso le scienze umane» (2007 p. 255).

Il grande interesse per questi temi ha contribuito a rinnovare l'attenzione degli studiosi per la *Proposta di premi fatta dall'Accademia dei Sillografi* di Leopardi (*Operette morali*): nell'«età delle macchine» sembra opportuno all'Accademia premiare i costruttori di tre tipi di macchine, tre automi, confidando che l'uomo potrà ottenerne dei vantaggi e dei benefici 'spirituali', oltre che materiali (vd. Cambiano 2006, p. 189; De Caprio 2000, p. 339 ss.; Campana 2008, p. 339 ss.).

Gli automi moderni, i robot diffusi a vari livelli, le varie macchine pensanti, parlanti, 'intelligenti', sistemi e modelli cibernetici ripropongono oggi all'attenzione tutta una produzione di 'macchine' straordinarie che dall'antichità, al Rinascimento, al Seicento hanno meravigliato e divertito i loro spettatori[132]. «La nozione moderna di automa [...] cioè di ente che proceda indipendentemente dalla volontà e dall'azione altrui, sembrerebbe essere oggi la sublimazione della nozione di macchina, la meta ideale del tragitto ideativo intrapreso tanto tempo fa dalla nozione di macchina. All'automa, che anche la scienza più avanzata va fantasticando e auspicando, sembra si

voglia ridare e riaffidare quelle proprietà di indipendenza, di volontà e di coscienza che la nozione di "automatico" ha in epoca moderna perduto da tempo»[133].

Allo sforzo degli artisti di creare statue 'viventi', *empsycha*, che davano allo spettatore l'impressione di essere vive, e mobili, grazie a particolari accorgimenti tecnici, derivanti dalla conoscenza dei meccanismi della visione e delle illusioni ottiche, si affianca o si contrappone l'impegno di tecnici esperti di meccanica nel costruire congegni che si muovono realmente. Ma gli *automata* sono anche nel mito, e nella fantasia dei poeti ancora prima che nella creatività manuale di artisti, artefici e ingegneri, e sono oggetto della riflessione filosofica perché pongono molteplici interrogativi, tra i quali il più inquietante e il più impegnativo è quello riguardante il confine tra 'animato' e 'inanimato', tra 'naturale' e 'artificiale'.

La storia della meccanica antica non può essere così separata dal più ampio dibattito epistemologico, e dalle domande che i suoi prodotti sollecitano. L'aspetto pratico, i vantaggi delle sue applicazioni al mondo del lavoro e della produzione sembrano più spesso secondari rispetto al gioco dell'invenzione in sé, alla ricerca delle cause, alla volontà di stupire con meccanismi troppo affrettamente giudicati oggi tanto meravigliosi quanto inutili (in alcuni casi, il meccanismo ha anche uno scopo dimostrativo). Notoriamente, uno degli ambiti in cui ci si impegnò maggiormente per escogitare vantaggiose applicazioni delle conoscenze tecniche acquisite fu la produzione delle macchine da guerra.

Poche macchine e molti trattati, sorprendente divario tra teoria e pratica costituiscono i ricorrenti argomenti della critica moderna alla tecnologia antica, e più in generale alla scienza antica, incapace di mettere a frutto le conoscenze, di sfruttare appieno le potenzialità, di progredire sulla base dell'acquisito verso nuovi traguardi. Alcuni, seppure in numero minore, esaltano invece le conquiste degli antichi e danno del loro mondo una visione più tecnologizzata[134]. Il contrasto e la discussione su tutto ciò si configurano come sterili; nessuna delle varie soluzioni può di per sé spiegare quello che è stato definito un 'blocco tecnologico', se avanzata trascurando considerazioni più generali. La concezione che noi abbiamo della

scienza, della sua organizzazione, della comunicazione e diffusione dei suoi risultati, del suo rapporto con la società è necessariamente e inevitabilmente diversa, data la distanza che ci separa da quel mondo; non è scontata inoltre, come potrebbe sembrarci, la sua utilizzazione a scopo sociale e per produrre ricchezza.

Il perseguire quasi unicamente una ricerca scientifica pura, o meglio fermarsi a essa, come fecero i Greci, ci appare lontano dalla nostra realtà e quotidianità, anche se la figura dello scienziato distratto, solitario e dedito alla ricerca per puro diletto sopravvive, nella letteratura e nel cinema, accanto a quella dello scienziato che salva l'umanità o che tenta di distruggerla. Il percorso della scienza nel mondo antico ci sembra discontinuo, e i risultati raggiunti ci sembrano talora limitati, e ostacolati da aprioristiche concezioni non sottoposte al vaglio dell'esperimento e al criterio della verifica e della riproducibilità, e in genere non rispondenti pienamente alle tendenze e alle potenzialità che si intravedono; la mancanza di strumenti adeguati non può essere tuttavia addotta come spiegazione, perché non è più causa che effetto di un sistema e di una temperie culturale molto diversi, con valori e obiettivi profondamente diversi.

Più proficuo del dibattito sui limiti del progresso tecnico antico, è uno studio che si concentri sui diversi documenti a nostra disposizione[135], attento a cogliere le peculiarità della scienza antica, all'interno del contesto in cui essa nasce e si afferma; il confronto con la scienza moderna vale come storia delle idee, dei concetti e dei problemi su cui l'umanità ha continuato a riflettere e a provarsi. L'intimo legame della scienza greca con la filosofia, con la vita e il dibattito culturale, più che con il mondo delle necessità pratiche e della produzione, e la tendenza alla speculazione teorica tipica dei Greci, che costituisce il tratto più evidente della loro civiltà, hanno influito profondamente e costantemente sugli sviluppi della scienza occidentale. Lo straordinario sviluppo tecnologico, che si è incomparabilmente accelerato nel secolo scorso, e che è sembrato imporsi come valore in sé, non ha intaccato quel legame, pur se ha cercato di procedere indipendentemente.

La scarsa o nulla considerazione in cui erano tenute le attività banausiche, e la possibilità di ricorrere al lavoro degli schiavi sono le motivazioni più correnti per spiegare il *gap* tecnologico. Anche l'uso di una scrittura numerica che rendeva difficili i calcoli è stato addotto come spiegazione. Il problema è in realtà più complesso; d'altra parte non si possono negare indubbi successi alla scienza antica: si pensi a Eratostene e alla sua misurazione della circonferenza terrestre; all'applicazione di leggi ottiche che permettevano alcune correzioni nella costruzione di statue ed edifici, finalizzate a un determinato effetto sullo spettatore; oppure al modo in cui si riusciva a ottimizzare l'acustica dei teatri; agli orologi solari. Il congegno di *Antikythera*, conservato, è di solito portato a esempio di precisione e di accuratezza dei calcoli. Da un lato ci sono invenzioni e progressi, dall'altro impedimenti che ne ostacolarono una diffusione capillare. «Le conoscenze scientifiche non bastano da sole a produrre sviluppo tecnologico e a innestarlo sui processi produttivi, a meno che non intervengano stimoli e incentivi socialmente legittimati. L'introduzione di innovazioni tecnologiche nel mondo antico fu di norma occasionale e fragile, anche perché non si diffuse mai l'idea (per noi scontata) che l'uso intensivo di tecnologia produca ricchezza. La mancanza di una chiara legittimazione sociale delle innovazioni tecnologiche, e cioè di un quadro istituzionale e professionale che assicurasse la comunicazione e la diffusione della tecnologia (e cioè di uno "snodo" fra scienziati e società) spiega la lentezza con cui le innovazioni circolavano al di fuori del contesto in cui erano nate», Settis 2005, p. 18. Si può ricordare l'isolamento, per noi sorprendente, in cui restò la dottrina eliocentrica di Aristarco di Samo, nota a pochi e dimenticata nell'antichità, vd. Vegetti 1983, p. 169 ss.

Chi si è occupato della meccanica greca in generale ha teso per lo più a mettere in evidenza quello che essa *non* è stata e *non* ha fatto, o che *avrebbe potuto* fare, dal punto di vista pratico; oppure si è incautamente proceduto a una modernizzazione forzata soprattutto di alcuni suoi aspetti teorici. La svalutazione della meccanica, dal punto di vista dei risultati pratici, rientra in quella più generale della tecnologia antica.

Jean-Pierre Vernant, in un noto saggio della metà del secolo scorso (1957, vd. ed. 1978, pp. 317-340), che ha rappresento in passato un punto di vista largamente condiviso dagli studiosi riguardo al sapere tecnico dei Greci, valutando l'impostazione puramente teorica della *Meccanica*, accosta l'argomentazione del prologo a quella dei sofisti. Il «combattimento della *techne* contro la *physis* e i procedimenti che assicurano alla prima la vittoria sulla seconda sono concepiti a somiglianza della giostra oratoria, in cui il sofista si sforza di far trionfare contro l'avversario una causa difficile»; «l'azione sulla natura» è vista «nelle forme e secondo il modello dell'azione sugli uomini»; gli strumenti tec-

nici sono visti come «i mezzi d'un dominio sulle cose analogo a quello che esercita il retore nell'assemblea, grazie alla padronanza che ha del linguaggio: come il retore ritorce o decuplica coi suoi procedimenti di dimostrazione la *dynamis* della parola, la forza degli argomenti, e la fa trionfare nell'*agon* giudiziario, così il meccanico moltiplica una *dynamis* coll'artifizio dei suoi congegni, per dominare una forza più potente» (p. 327 e p. 329 s.). L'autore considera che i due livelli dell'*empeiria* e dell'*episteme* restano in Grecia separati e distinti, ed esemplifica ciò attraverso i trattati di Erone, capace di ragionare in termini puramente teorici o pratici, ma senza integrare i due piani. «Per contro in un trattato come i *Mechanica* d'Aristotele, che ha lasciato una traccia profonda in tutta la scuola degl'ingegneri alessandrini e a cui Erone s'ispira ancora in modo diretto, la prospettiva è unilaterale, di pura teoria; e questa teoria non è scienza applicata. Nell'opera di Aristotele, le questioni meccaniche sono affrontate non tanto in se stesse e per se stesse, quanto in rapporto alle difficoltà d'ordine logico ch'esse sollevano. Aristotele s'interessa delle combinazioni meccaniche come di fenomeni "paradossali", di cui bisogna che il filosofo spieghi le cause. Il pensiero non è tecnico; se utilizza, in certe parti della dimostrazione, il ragionamento matematico e parte da constatazioni di fatto per porre certi problemi, resta tuttavia essenzialmente d'ispirazione logica e dialettica. Per la forma, il vocabolario e l'intelaiatura concettuale, la teoria nella quale esso s'esprime resta curiosamente vicina alla sofistica. La *mechane* vi è definita, in un senso ancora molto vicino a quello d'astuzia, d'espediente, come l'ingegnosa invenzione che permette di trarsi d'impaccio in una situazione imbarazzante, in un'*aporia*, e di prendere il sopravvento su una forza della natura contraria e superiore [...] Queste analogie fra i due campi dell'argomentazione dialettica e dell'azione sulla natura, per noi così estranei l'uno all'altro, non traducono solo un semplice paragone, una parentela nel vocabolario, ma segnano il ricorso, in entrambi i casi, alle stesse categorie mentali, l'utilizzazione d'uno stesso sistema di concetti [...] Nella meccanica non tutto è riducibile alla matematica; il dinamismo delle forze naturali, che non si può ancora calcolare sotto forma di leggi al livello di una scienza fisica, è reso più intelligibile con questa trasposizione sul piano d'una dialettica esperta nel pesare la potenza logica degli argomenti», (vd. pp. 326 s.; 329 s.; il saggio dal titolo *Remarques sur les formes et les limites de la pensée technique chez les Grecs* comparve nella *Revue d'Histoire des Sciences*; cfr. Schuhl 1969 – 1938; Koyré 1948: rispetto a questi studi che mettono in evidenza il deprezzamento del lavoro e le limitazioni del pensiero tecnico in Grecia, l'autore offre una prospettiva più ampia delle problematiche connesse, pur condividendone la tesi di fondo).

Vernant, accentuando la valenza dialettica della *Meccanica*, ne mette in ombra altri aspetti pur rilevanti. Inoltre, la meccanica greca, di

cui questo trattato rappresenta la prima evidenza letteraria, rientra in una tradizione del sapere in senso lato scientifico, che ha costituito, nel corso dei secoli, un vero e proprio paradigma.

Marshall Clagett, nell'introdurre il suo ricco studio sulla scienza della meccanica nel Medioevo, ne delinea efficacemente un percorso e la sua dipendenza dai concetti meccanici introdotti e analizzati dagli studiosi greci di meccanica, tra i quali cita l'autore aristotelico dei *Mechanica*, Archimede, ed Erone (1981, p. 11). «La centralità della fisica in generale e della meccanica in particolare nello sviluppo della scienza moderna non è mai stata messa in dubbio, poiché proprio nell'ambito della meccanica è stata compiuta la prima sistematica applicazione di quelle tecniche matematiche e sperimentali che si sono rivelate così importanti per l'avvento della scienza moderna. Ma il riconoscimento dell'importante funzione della meccanica agli inizi dell'èra moderna non significa che per individuare l'inizio della scienza moderna dobbiamo rivolgere la nostra attenzione solo alle opere di meccanica, già mature, del Seicento. Per gli storici della scienza è un fatto ovvio che i concetti fisici di un Galileo o di un Descartes, o addirittura di un Newton, per quanto radicali possano sembrare, furono condizionati per più versi da dottrine antiche e medievali. Pertanto chiunque sia veramente interessato al processo *storico*, di enorme complessità, della formazione della scienza moderna, deve esaminare particolareggiatamente i concetti germinali dei periodi precedenti. Un tale esame rivelerà gli elementi di continuità (e conseguentemente anche di novità) presenti nella nuova scienza; inoltre esso consentirà di vedere come una teoria protoscientifica sia stata soggetta a critica e a correzione fino a trasformarsi in un tutto coerente. Si vedrà anche come i principali argomenti di critica del vecchio sistema siano divenuti punti di partenza del nuovo. Si vedrà, in breve, come la meccanica medievale – in gran parte aristotelica, con qualche traccia di elementi archimedei – venisse continuamente modificata fino a giungere a un punto tale di corrosione da richiedere un nuovo sistema meccanico: e a soddisfare questa richiesta fu, nel Seicento, il sistema galileiano-newtoniano» (1981, p. 7).

Helmuth Schneider (1992), nella sua documentata storia della tecnologia antica (particolare attenzione è dedicata al rapporto tra invenzione e innovazione, tecnica e società, tecnica e scienza della natura, tecnica e natura, tecnica e lavoro, tecnica e comunicazione), riassume il vario e spesso contrastato approccio degli studiosi moderni allo studio della tecnica antica, dando particolare rilievo alla discussione sulla sua stagnazione e ai fattori che la spiegherebbero: disprezzo del lavoro manuale, schiavitù, negazione del progresso. Questi sono stati i principali fattori addotti per spiegare la stagnazione della scienza e della tecnica antica, oltre ad altri che ne sono in parte i corollari: mancata interazione fra la tecnica e la teoria, fra la tecnologia e lo sviluppo economico,

non disponibilità di strumenti adeguati, mancata o insufficiente applicazione di matematica e fisica agli scopi tecnologici, inesistente o minima struttura istituzionale.

In particolare dopo Thomas Kuhn, si è assistito nella storiografia della scienza a una maggiore apertura verso altre discipline come la sociologia, la storia economica, sociale e culturale. Per comprendere sviluppi e orientamenti della meccanica, in particolare, è fondamentale considerare il suo rapporto con la filosofia: si è insistito in genere sull'importanza delle teorie di Stratone per la pneumatica; sulle introduzioni di Erone, ricche di parti teoriche che toccano temi filosofici (vd. Tybjerg 2005, p. 213 ss.). Sulla necessità di valutare più a fondo il rapporto tra meccanica, pensiero filosofico e scienza della natura, in Grecia, richiama opportunamente l'attenzione Sylvia Berryman (2009), che sottolinea l'importanza della *Meccanica* aristotelica in questa indagine: «The fact that the analysis is applied to some cases in nature belies any claims about a systematic separation of the mechanical from natural philosophy» (p. 114).

Lo studio recente di Serafina Cuomo (2007), che costituisce un approccio epistemologico ad ampio raggio, rimette in discussione molti punti di vista tradizionali sul ruolo della *techne* nel mondo antico, arrivando ad affermare la sua centralità e il suo straordinario significato politico, sociale, economico e religioso, attraverso un'analisi del suo rapporto con il mondo della produzione, e con la cultura nelle varie epoche. I tecnici antichi non erano marginali ma erano marginalizzati; la marginalizzazione fu dovuta a motivi politici e sociali: la *techne* si associava al cambiamento, alla mobilità, al passaggio da uno stato all'altro, così che l'atteggiamento delle fonti non è quasi mai neutrale nei confronti della *techne* (p. 165 ss.; cfr. il ruolo delle *technai* nella cultura antica delineato da Löbl 2003, in particolare p. 265 ss.).

Una considerazione generale e preliminare riguarda i criteri con cui confrontare sistemi profondamente diversi, basati su concezioni diverse, a cominciare da quella di 'natura'; differiscono anche le posizioni di fronte allo studio della natura, e le motivazioni dello scienziato. Quasi tutto è andato inoltre perduto dei complicati congegni della pneumatica e della meccanica, degli strumenti di computo e di osservazione astronomica. Sulla meccanica antica restano alcuni trattati, attraverso cui si entra solo parzialmente nel diversificato mondo della tecnica greca; altri testi ci permettono di gettare uno sguardo, sempre molto parziale, su di esso: i poemi omerici, la commedia attica, le opere di storici, geografi e astronomi. «I nostri trattati stanno alla realtà tecnica quotidiana, diffusa, del mondo greco come la botanica di Teofrasto sta all'agricoltura del suo tempo, ne rappresentano l'elaborazione più alta, l'ambizione teorica [...] nell'oggetto artificiale pensato,

progettato, voluto e trascritto si coagulano e si cristallizzano origini mitiche e valori simbolici, elaborazioni filosofiche e ideologiche, funzioni economiche e sociali»; essi costituiscono «l'unico punto solido di cui disponiamo per intravedere la fisionomia di una cultura tecnica tanto distante dalla nostra, per seguirne l'orientamento verso valori che non sono i nostri, per comprendere un sentimento dell'artificiale che abbiamo dimenticato, anche se agisce in noi come una eredità inconsapevole» (Ferrari 1992 p. 164). Ci si può chiedere inoltre quale sia stato il ruolo della letteratura tecnica nel progresso, se lo abbia favorito, rendendo accessibili le idee, o se abbia di volta in volta avuto solo una funzione culturale, in senso lato.

Un'altra constatazione riguarda lo sviluppo ineguale della scienza greca: dopo Aristotele e Teofrasto, non si ebbero nelle scienze naturali progressi paragonabili a quelli raggiunti dalle cosiddette scienze deduttive (matematica, astronomia, ottica, meccanica); un caso a sé è costituito dalla medicina. Anche il ricorso all'esperimento e alla matematizzazione non si attua in modo sistematico e coerente in tutti gli ambiti disciplinari: non tutta la scienza antica può dirsi solo e semplicemente 'qualitativa', pur se l'atteggiamento empirico dell'antichità non è ancora l'atteggiamento sperimentale dell'età moderna, in cui dominano l'indispensabilità dell'esperimento e la verifica.

Una più capillare indagine meriterebbero il rapporto tra conoscenze tecniche e produzione letteraria su di esse, la permeabilità di nuove teorie e acquisizioni, l'organizzazione e la diffusione della ricerca. Si può notare che nel mondo antico, concezioni o teorie antiche e nuove stanno le une accanto alle altre (vd. per es. nei *Suoni* la coesistenza di una teoria dell'impatto e di una teoria dell'impulso nella spiegazione dell'origine e della propagazione del suono, vd. Ferrini 2008, p. 180 ss.); oppure che straordinari avanzamenti teorici, come la teoria dei centri di gravità (per rimanere nell'ambito della meccanica), non si impongono come sostitutivi, ma si affiancano a precedenti teorie e impostazioni, in trattazioni a sé stanti.

In particolare è stato sottolineato il conservatorismo della meccanica ristretta; anche nella struttura più elastica della meccanica allargata, tuttavia, l'aggiunta di nuove tematiche non compromette l'impianto complessivo: «È in fondo lo stesso caso della teoria dei centri di gravità, della centrobarica di Archimede [...]: con gli occhi dell'epistemologia moderna ci attenderemmo che la nuova teoria – più potente, più matematizzata, più esplicativa della prima – entri in conflitto e alla fine sostituisca la concorrente; ci attenderemmo una controversia, un mutamento di paradigma. Nulla di tutto questo accade: la nuova si somma alla vecchia senza scalzarla, mantengono entrambe una loro validità locale e vengono sentite come compatibili, perché riferite entrambe al medesimo oggetto» (vd. Ferrari 1984, p. 284; cfr. p. 250). Un altro si-

gnificativo esempio è offerto dalla letteratura geografica: non si traeva tutto il profitto possibile dalle nuove opportunità che si aprivano con le conquiste militari; le nuove conoscenze venivano accostate quasi casualmente a dati superati, anche da secoli.

Il sistema di comunicazione antico spiega solo in parte l'isolamento in cui restano novità e acquisizioni; più fruttuoso è tener conto della forza della tradizione, in tutti gli aspetti delle civiltà antiche (la produzione più propriamente letteraria ne offre l'esempio forse più noto), e di un diverso modo di concepire e di organizzare la ricerca. Anche la comunità di matematici in epoca ellenistica, testimoniata per esempio dalle prefazioni di Archimede ad alcuni suoi trattati (vd. *Sfera e cilindro*; *Conoidi e sferoidi*; *Spirali*; *Quadratura della parabola*; *Metodo*), e che può apparire un'eccezione, si costituisce come espressione di una volontà di inserirsi in una tradizione, anche se in modo del tutto specifico. Si può sintetizzare questo aspetto con le parole di Cambiano: «Con l'inizio del terzo secolo le divergenze sui metodi e sul peso teorico da attribuire ad essi, che avevano caratterizzato la prima geometria greca, vennero meno. Ciò dipese dal costituirsi di una piccola e chiusa comunità di matematici, che condivideva presupposti e metodi incarnati nella struttura degli *Elementi*. Fu da quel momento che il lavoro matematico venne configurandosi come accumulazione all'interno di una tradizione rappresentata da Euclide e, dietro di lui, da Eudosso [...] Le prefazioni di Archimede e Apollonio ai loro trattati documentano l'esistenza di una tale comunità. Questi trattati non erano manuali per l'insegnamento, ma monografie che esponevano risultati di ricerche. I rapporti tra i matematici erano istituiti lungo alcuni assi portanti: 1) richiesta di soluzioni di problemi; 2) comunicazione di risultati con la richiesta di trovarne le dimostrazioni o comunicazione di risultati non ancora definitivi; 3) comunicazione di risultati definitivi e talora anche della via seguita per ottenerli. Ma l'obiettivo autentico della comunicazione non era soltanto la diffusione delle proprie ricerche ad altri competenti, come ad esempio richiede Apollonio a Eudemo nella prefazione al secondo libro, bensì soprattutto la necessità di un riscontro e un controllo di tali risultati da parte di altri matematici [...] Il richiamo a una comunità non era che l'espressione della consapevolezza di collegarsi a una tradizione» (1992, pp. 97-99). L'autore mette in evidenza altrove la specificità di questa concezione cumulativa, rispetto al più consueto isolamento dello scienziato, non solo dalla comunità sociale più ampia: «nella cultura filosofica o in altri ambiti disciplinari, quali la medicina [...] si assisteva o al riconoscimento di posizioni alternative tra loro o alla presentazione dei propri predecessori come antecedenti incompiuti o alla presunzione di mantenersi fedeli alle tesi pressoché complete e perfette di un capostipite» (2006, p. 105).

Sull'attività scientifica al tempo di Archimede, sulle lettere che si leggono nelle sue opere e che presuppongono una rete di singoli studiosi in contatto fra di loro, si sofferma Netz (2008, p. 61 ss.)

In Omero non compare il termine *mechane*, ma sono utilizzati il verbo *mechanasthai*, per indicare sia l'atto concreto del costruire, sia il 'macchinare', il perpetrare, tramare, ordire scelleratezze, insidie[136], e il raro sostantivo *mechos* 'risorsa', 'rimedio'[137]. A Odisseo vengono riferiti gli epiteti *polymechanos* e *polymetis*, che lo connotano come esperto in varie astuzie, e come capace di trovare espedienti, 'mezzi' per trarsi ogni volta d'impaccio dalle difficoltà[138]. Emerge così l'affinità tra il concetto di *metis* e l'abilità di escogitare *mechanai*, tanto più significativa anche considerando che in situazioni difficili, di scontro o di competizione, il ricorso alla *metis* può configurarsi come alternativo all'uso della forza[139].

Il termine *mechane* è invece attestato, al nominativo plurale, in Esiodo[140]. Con diverse connotazioni ('inganno' o 'risorsa', 'espediente'), ma sempre senza riferimento a oggetti concreti, il termine ricorre in Archiloco[141], in Semonide[142], in Alceo[143] e in Pindaro[144].

Nelle tragedie di Eschilo, il termine è usato in senso sia generale, sia concreto e materiale. Nei *Persiani*, il coro sottolinea un momento decisivo nella loro storia, quando, dopo aver distrutto città e condotto guerre sulla terraferma, essi varcano il mare e trasgrediscono i limiti imposti dagli dei: «Poi appresero a contemplare l'umido recinto del vasto mare che incanutisce al soffio aspro dei venti e confidarono in funi sottili e in macchine che traghettano genti»[145].

Nella descrizione che Erodoto fa del modo di costruire una piramide a gradini in Egitto, le *mechanai* sono utilizzate per sollevare pesi: «Dopo averla costruita in tal modo, sollevarono le pietre restanti con macchine fatte di legni corti, sollevandole da terra sulla prima serie di gradini. Quando la pietra era innalzata su questa prima serie, veniva messa su un'altra macchina che era collocata là e quindi trascinata sulla seconda serie e su un'altra macchina. C'erano infatti tante macchine quante erano le serie dei gradini, oppure spostavano la stessa macchina, che era una sola e facile da muoversi, su ciascuna

serie, ogni qual volta toglievano la pietra»[146]. Erodoto fa anche riferimento a macchine da guerra, riferimento che contribuisce, insieme con la reminiscenza omerica, a dare al breve ma appassionato racconto dell'assedio di Mileto un'evidenza icastica particolarmente efficace: «I Persiani, come ebbero vinto gli Ioni in battaglia navale, assediando Mileto dalla terra e dal mare, scavando sotto le mura e portando contro macchine da guerra di ogni tipo – παντοίας μηχανὰς προσφέροντες, la conquistarono da cima a fondo – κατ' ἄκρης – nel sesto anno dalla rivolta di Aristagora. E resero schiava la città in modo tale che il disastro corrispose all'oracolo che era stato dato su Mileto»[147].

All'uso di macchine da guerra e di strumenti per l'assedio viene dato rilievo negli scritti degli storici, come è facile immaginare; Tucidide parla sia in generale di *mechanai* (e talora del legname di cui ci si doveva provvedere per costruirle) sia di strumenti ossidionali specifici[148], soffermandosi qualche volta a descriverne gli effetti devastanti concreti e la reazione di chi vi assiste sbigottito.

Stupore di fronte alle *mechanai* manifestò anche Pericle, secondo la testimonianza di Plutarco: «Eforo racconta che durante l'assedio di Samo si impiegarono macchine da guerra che stupirono Pericle stesso per la loro novità. Le costruì l'architetto Artemone, soprannominato Periforeto perché era zoppo e si faceva portare in giro a ispezionare i lavori urgenti su una portantina»[149].

Alcune fonti, oltre a documentare il dispendio di forze e di denaro che occorrevano per la costruzione di queste macchine, mettono in evidenza anche gli sforzi necessari a convincere artefici e inventori a dedicarsi alla loro costruzione, pur così utile. Diodoro Siculo riferisce che Dionisio fece venire a Siracusa *technitai* da ogni parte, e che li convinse con doni a ideare armi da lancio e nuove macchine da guerra, capaci di grandi prestazioni[150]. Il racconto più articolato e più noto degli sforzi tesi a convogliare un sapere verso un'applicazione pratica, di immediata urgenza, è quello relativo ad Archimede, emblematica figura dell'inventore geniale e disinteressato, quasi astratto dalla realtà che lo circonda, dedito a inventare per gioco prodigiosi meccanismi, ma nello stesso tem-

po ben consapevole della propria abilità e della loro potenza[151]. Significativa, se si pensa al valore euristico che i Greci assegnavano alla geometria, è la caratterizzazione di Archimede come costantemente dedito a disegnare figure geometriche; così anche la morte lo coglie mentre è concentrato su una figura e su un problema geometrico[152].

Con il termine *mechane* viene designata una delle macchine sceniche più utilizzate, detta anche *geranos* 'gru' oppure *krade* 'ramo di fico'[153]; essa fu impiegata come sembra già da Eschilo[154], e frequentemente da Euripide, che nel finale dei suoi drammi vi ricorre per far apparire in alto una divinità a risolvere in modo spettacolare e sorprendente una complessa situazione senza via d'uscita. «Quando sono in difficoltà, i poeti tragici ricorrono alle macchine, sollevando per aria gli dei»: Socrate, nel *Cratilo* di Platone, fa questo riferimento per esemplificare un modo di trarsi d'impaccio in una situazione difficile[155]. Significativa è la condanna di questo espediente da parte di Aristotele, in quanto la *lysis* ('scioglimento') della trama, così ottenuta, viola i principi di verosimiglianza e spezza i nessi di consequenzialità e di necessità che legano le azioni umane; l'uso della *mechane* deve essere pertanto limitato a «quel che è fuori dell'azione drammatica»[156].

La medicina è una delle *technai* per le quali sono meglio documentati l'uso e il funzionamento di 'macchine'. Gli strumenti meccanici e i loro effetti sono infatti per la prima volta descritti negli scritti del *Corpus Hippocraticum*[157].

Nell'Ellenismo il rapporto tra la medicina e la meccanica diventa ancora più stretto, come ha messo in evidenza Heinrich von Staden (1996 p. 92 s.). In Erasistrato, il corpo è una macchina, un *automaton*, pur se viene salvaguardata la prospettiva teleologica, in quanto le parti hanno funzioni precise. All'interno del corpo, una sottomacchina è il cuore: si può individuare un parallelismo tra la struttura e il funzionamento del cuore, e la pompa idraulica di Ctesibio (p. 93 ss.). In un altro studio (1998) dedicato a Andrea di Caristo e a Filone di Bisanzio, l'autore conferma l'ipotesi secondo cui la nuova tecnologia meccanica alessandrina ebbe un impatto considerevole sulla tecnologia medica: l'interazione è teorica (tra fisiologia e meccanica) e pratica (apparecchi utilizzati nella chirurgia ortopedica); molto interessanti sono anche le

affinità lessicali individuate nella descrizione della fisiologia cardiovascolare e delle operazioni di certe macchine che utilizzano la tecnologia pneumatica.

Persisterà nella tradizione greca (e molto oltre) il ricorso al parallelismo tra parti del meccanismo, organi del vivente e *kineseis* dell'anima, e alla creazione artificiale come modello di conoscenza.

Platone usa il termine *mechane* nella varietà delle sue accezioni[158]. Nel *Cratilo*, Socrate dopo aver esaminato la parola *techne* si sofferma sull'etimologia di *mechane*, che viene considerata composta da *mekos* e *anein*, e interpretata, avvicinando il significato di *mekos* a *poly*, come 'segno' dell'*anein epi poly*, del 'portare molto avanti'. A parte le considerazioni sulle etimologie degli antichi, questo passo è importante sia per la distinzione tra *techne* e *mechane*, sia per le connotazioni di *mechane*.[159]

Nelle fonti antiche i concetti di *techne* e di *mechane* si distinguono nettamente, o si sovrappongono, quasi a formare un'endiadi[160]. Nella *Meccanica*, *mechane* è una parte, una specie del genere *techne*, una sottoclasse, quasi che l'autore tentasse di costituire in modo del tutto estemporaneo una propria classificazione (basata, come in Aristotele, sulla conoscenza della cause), semplificando un modulo espositivo ricorrente nel presentare *epistemai* e *technai*. In quest'opera non compare il termine *mechanike* (*techne*), che Aristotele usa altrove, mentre è usato il nesso *ta problemata mechanika*; il titolo è costituito da un aggettivo neutro plurale che vale genericamente 'cose attinenti alla *mechane*', o che può implicare il riferimento a *problemata* o a *zetemata*.[161]

Il ricorso alla *mechane* si configura quasi costantemente come mezzo per risolvere difficoltà negli ambiti più diversi; gli effetti che così si ottengono, e che sarebbero altrimenti impensabili, sono molto spesso constatati con meraviglia e stupore. Esso può essere valutato positivamente, o negativamente in quanto espressione di una debolezza, di un inganno, di una frode, ma è sempre giustificato dalla volontà o necessità di superare un ostacolo, o di cavarsela in situazioni che sareb-

bero senza via d'uscita; implica pertanto un'attiva partecipazione e un'attività consapevole e, implicitamente o esplicitamente, un determinante coinvolgimento di capacità che non sono solo manuali: non ogni 'mezzo' è una *mechane*.[162] A seconda dei contesti e delle diverse fasi storiche, il concetto di *mechane* si associa a quello di *metis*, di *sophisma*, di *techne*; il 'cercare' e il 'trovare' (il verbo *heuriskein* è ricorrente fin da Omero, per indicare la ricerca di un espediente) un *poros* fa parte della condizione umana, caratterizzata dal limite, ma anche da una tensione al suo superamento. Purché, dal punto di vista greco, non ecceda la misura (anche per questo è problematico il rapporto tra il 'mezzo' usato e il risultato ottenuto), l'uomo può opporre un'altra *dynamis* a quella della 'necessità' in senso lato. Il termine *mechane* (o i suoi derivati) ricorre significativamente nei cosiddetti miti di progresso[163].

La storia degli usi della parola *mechane*, e dei suoi derivati, permette di seguire interessanti collegamenti e sviluppi: le connessioni con il concetto di *metis* e il progressivo collegamento con il *logos*, con un sapere tecnico. La *Meccanica* esalta un valore positivo della *mechane*, ancorandolo all'impegno dell'uomo nel superare le difficoltà. Nello stesso tempo conferma una visione non meccanicistica della *mechane*, per il rilievo dato al rapporto logico e ricostruibile tra causa ed effetto. Nell'ambito del Peripato la *mechane* supera l'ambiguità che ancora conserva in Platone, pur se il prologo retorico di questo trattato non rinuncia a tradizionali concezioni. Pertanto, la *Meccanica* aristotelica, oltre a essere il primo trattato che noi possediamo su questo tema, testimonia anche il definitivo riconoscimento di questa disciplina: nella classificazione dei saperi tecnici e scientifici, la meccanica e le sue diverse branche saranno considerate come scienze matematiche applicate.

Nell'ampio dibattito antico sulle *technai*, disprezzate come banausiche, oppure rivalutate come dono degli dei o conquista degli uomini, la concezione aristotelica svolge un ruolo significativo, in un momento di cambiamenti sociali ed economici; d'altra parte tutta l'attività del Peripato rappresenta un contributo essenziale alla scienza ellenistica, come si è detto.

Rimangono operanti le distinzioni tra *episteme*, *techne* e *empeiria*, e le classificazioni all'interno delle scienze; tuttavia l'arte 'utile' socialmente può essere considerata insieme con quella 'disinteressata', mirante solo al vero, e quindi in un certo senso giustificata e assunta come valida anch'essa, pur nella diversità: «un costruttore e un geometra ricercano diversamente l'angolo retto: il primo lo ricerca in quanto è utile al suo lavoro, l'altro invece ne ricerca qual è il genere o quale la differenza specifica, perché è una persona dedita a contemplare la verità» (Aristotele, *Etica Nicomachea* I 7, 1098 a 29-31; cfr. Platone, *Repubblica* V 475 e).

Dall'antichità ci sono pervenute due classificazioni della meccanica, all'interno di una più ampia organizzazione delle scienze, dovute a Pappo, e a Proclo, che risale a Gemino.

Pappo, che cita anche Gemino (VIII 3, III p. 1026, 8 Hultsch), dedica alla meccanica l'introduzione dell'ottavo libro della sua *Collezione*. La definisce utile alle necessità della vita, meritevole dell'attenzione dei filosofi, e di chi si occupa di matematica e di fisica. Essa si interessa dei corpi in quiete e in movimento, delle loro naturali tendenze (verso il loro luogo naturale), non solo individuando le cause del moto naturale, ma anche escogitando mezzi per costringere i corpi a cambiare la loro posizione, e a muoversi in un senso contrario a quello naturale. I meccanici della scuola di Erone dicono che la meccanica consiste di una parte razionale, teorica (*logikon*), e di una parte applicata, pratica (*cheirourgikon*): nella prima rientrano geometria, aritmetica, astronomia e fisica, nella seconda metallurgia, architettura, carpenteria, pittura, e l'esercizio manuale di queste arti. Chi si è dedicato molto presto a queste scienze, e ha acquisito esperienza in queste arti, ed è inoltre dotato di viva intelligenza, sarà un eccellente inventore e costruttore di congegni meccanici. La vastità degli ambiti, sia nello studio sia nel lavoro, richiama l'attenzione sulle utilità e sui fini specifici. Segue una lista di tre arti molto importanti per le necessità della vita: l'arte dei *manganari*, chiamati anch'essi meccanici dagli antichi (con le loro macchine sono capaci di sollevare grandi pesi con una piccola forza, agendo *para physin*); la fabbricazione di congegni bellici; la costruzione di macchine propriamente dette, per sollevare l'acqua. Gli antichi chiamano meccanici anche i *thaumasiourgoi* che sfruttano per i loro congegni o l'aria, come fa Erone negli *Pneumatica*, o nervi e corde, come Erone negli *Automi* e nelle *Bilance*, simulando il movimento di esseri viventi, oppure oggetti fluttuanti nell'acqua, come Archimede nei *Galleggianti*, o orologi ad acqua come Erone. Chiamano meccanici anche i costruttori di sfere, che allestiscono un modello del cielo e lo fanno

funzionare con i movimenti uniformi e circolari prodotti dall'acqua (VIII 1-2, III pp. 1022-1028 Hultsch).

Pappo registra una concezione ampia del sapere del *mechanikos*, e avverte la difficoltà di conciliare un ideale di formazione vasta e la specializzazione che permette l'eccellenza. Inoltre, la meccanica (*mechanike theoria*) implica anche un'azione *para physin* 'contro natura', come nella *Meccanica* del *C. A.*: questa idea è una costante nell'antichità; prima di essere una scienza o una tecnica, la meccanica sembra un'attitudine dell'uomo in opposizione alla natura, e dell'uomo in opposizione agli altri uomini per sorpassarli con un ingegno superiore, con 'stratagemmi' (vd. per es. i *Poliorketika* di Enea Tattico). Il discorso di Pappo rientra nello spirito della scuola eroniana, perché per Erone e la sua scuola la meccanica è la scienza architettonica per eccellenza, di cui le scienze matematiche (aritmetica e geometria) e la fisica costituiscono il fondamento razionale. L'applicazione pratica presuppone la conoscenza teorica, e si eleva al rango di vera tecnologia (vd. Giardina 2003, p. 129 s.). Per il confronto del passo di Pappo con Vitruvio, *Architettura* I 1, vd. Fleury 1994, p. 190 ss.; d'altra parte il sapere dell'architetto, quale è delineato da Vitruvio, trova prima di tutto un confronto con la concezione peripatetica della *techne* come forma specialistica del sapere, oltre che come attività produttiva.

Nell'ordinamento di Proclo, che raccoglie la tradizione precedente, la meccanica è una delle scienze matematiche applicate. Proclo, esposta la divisione delle scienze da parte dei Pitagorici, ci testimonia che alcuni, come Gemino, dividono diversamente la scienza matematica: «da un lato pongono quella che si occupa soltanto delle cose intelligibili, dall'altro quella delle cose sensibili, e a queste applicata [...]. Della matematica che tratta delle cose intelligibili, due parti essi ritengono primissime e importantissime, aritmetica e geometria; della matematica che svolge la sua attività intorno agli oggetti sensibili, le parti sono sei: meccanica, astronomia, ottica, geodesia, canonica e logistica» (*Commento al I libro degli Elementi di Euclide*, Prologo I, p. 38, 1-12 Friedlein; vd. Aujac 1975, p. 114). Riferite le ulteriori divisioni della geometria, dell'aritmetica, e definiti gli ambiti della geodesia, della logistica, dell'ottica e della canonica, si passa a considerare la meccanica e l'astronomia: «Oltre a queste c'è la scienza che si chiama meccanica, che è una parte dello studio degli oggetti sensibili e materiali; da essa dipende la organopoietica, cioè l'arte di costruire macchine da guerra, come le macchine che si dice abbia costruito Archimede, atte a difendere Siracusa contro gli assedianti; e anche la taumatopoietica, abile costruttrice di congegni a sorpresa, sia mediante sbuffi d'aria, come hanno operato Ctesibio e Erone, sia mediante pesi, del cui movimento deve essere ritenuta causa lo squilibrio, e dell'immobilità l'equilibrio, come distingue anche il *Timeo* [57 d ss.], sia anche mediante tendini e

corde di sparto imitanti movimenti e trazioni di esseri animati. In connessione con la meccanica c'è anche la scienza degli equilibri in generale e di quelli che si chiamano centri di gravità; poi la costruzione di sfere, per imitare le rivoluzioni celesti, scienza che anche Archimede trattò; e, in generale, tutta la cinetica degli oggetti materiali. Ultima scienza è l'astronomia, che si oocupa esclusivamente dei movimenti cosmici, delle grandezze e figure dei corpi celesti, delle loro illuminazioni e distanze dalla terra, e di tutte le altre cose simili, molto traendo vantaggio dalla percezione sensibile e molto avendo in comune con la scienza della natura» (p. 41, 3-24 Friedlein; vd. Aujac 1975, p. 116 s., e p. 166 s. per il confronto tra la classificazione di Gemino e quella di Pappo).

Sulla classificazione delle *technai* in Grecia e sulla tassonomia come forma di controllo, vd. Cuomo 2007, p. 12 ss.; per la gerarchia delle scienze e delle tecniche in Platone, vd. anche Cambiano 1991, p. 231 ss.; Vegetti 1998, p. 204 ss.; sulla valutazione delle scienze in Aristotele, vd. Lang 2005, p. 80 ss.; Zhmud 2006, p. 122 ss.

Proprio il carattere teorico più che pratico di quest'opera, che costituisce di per sé un limite dal punto di vista del progresso tecnologico antico, sembra aver aperto invece proficuamente la via al dibattito moderno sulla 'macchina'. Il concetto di macchina è stato recentemente al centro di colloqui e dibattiti che hanno riproposto all'attenzione anche la meccanica antica, come un momento essenziale nella storia di questo concetto, proprio per gli aspetti epistemologici. Sono così emerse alcune costanti nella riflessione antica e moderna in questo ambito. Innanzitutto il principio dei contrari connesso con l'attività della natura e dell'arte[164]; il concetto di 'slancio', impulso, e di contatto implicato nella spiegazione del movimento e della sua trasmissione[165]; il rapporto tra natura e 'arte', tra naturale e artificiale (mediato come nell'antichità dal concetto di 'imitazione', o indipendente da esso), tra organico e inorganico, tra fenomeni biologici e fenomeni meccanici. Dallo studio di questi rapporti, dai confini assegnati al 'vivente' e dall'estensione del concetto o del modello di 'macchina' alla natura, agli animali[166] e all'uomo[167] sono scaturite note posizioni e impostazioni contrastanti, che si possono brevemente schematizzare ricorrendo ai concetti di 'vitalismo' e 'organicismo', e di 'meccanicismo'. Infine, la *Meccanica*, ponendo come principio interpretativo fondamentale le caratteristiche del

movimento circolare, salda, seppure in modo non esplicito, la meccanica alla speculazione sui moti del cosmo[168].

Lettori e traduttori della *Meccanica* nel Rinascimento

La diffusione e l'influenza della *Meccanica* nell'Antichità e nel Medioevo sono oggetto di valutazione in molti studi, e di controversie[169], dovute essenzialmente al diverso modo in cui si interpreta e si giudica l'analogia tra le questioni affrontate e i metodi adottati nelle opere di meccanica successive al trattato peripatetico: o come influenza diretta della *Meccanica* aristotelica, o come conseguenza dell'aver attinto a raccolte di problemi meccanici. Sembra inoltre che non esista una traduzione latina medievale della *Meccanica*[170]. Incontrovertibile è invece la sua fortuna nel Cinquecento e all'inizio del Seicento, secoli di fondamentale importanza nella cultura europea, in cui si pongono le premesse per una svolta nella storia della scienza, e le basi per la meccanica moderna. Alla discussione sulle arti meccaniche, radicalmente rivalutate, sono legati grandi temi culturali di allora, alcuni dei quali vivi ancora oggi.

All'inizio e alla fine del Quattrocento si collocano eventi decisivi per la conoscenza di questo trattato. Giovanni Aurispa enumera tra i codici «gentilium auctorum» alcuni scritti di Aristotele, tra cui i *Mechanica*[171]. La pubblicazione delle opere del *Corpus Aristotelicum* a Venezia, alla fine del Quattrocento, da parte di Aldo Manuzio diffonde la conoscenza anche della *Meccanica*, tradotta poi in latino nel 1517, da Vittore Fausto, e pubblicata a Parigi[172].

In Italia, Niccolò Leonico Tomeo editore di Aristotele (1527) e traduttore di alcune sue opere, pubblicò in un primo momento (1525) una traduzione latina corredata da un commento e da figure illustrative[173]. La sua traduzione, che ebbe subito molta diffusione, fu ristampata in edizioni successive delle opere di Aristotele, e inserita nell'edizione del Bekker (1831).

La prima traduzione in una lingua moderna è quella di Diego Hurtado de Mendoza (o Mendoça), ambasciatore im-

periale a Venezia, pubblicata solo nel 1898 nella *Revue Hispanique*. Essa è preceduta da una breve nota dell'editore della rivista, in cui si danno informazioni sul luogo e sull'anno in cui la traduzione fu fatta (a Trento, nel 1545) e sui tre manoscritti della Biblioteca dell'Escorial che la contengono. Viene anche citato un lungo passo di Charles Graux, che ricostruisce l'atmosfera in cui a Trento, i Padri del Concilio «pour occuper les loisirs des longs hivers» fondano un'accademia aristotelica[174].

La prima traduzione in lingua italiana, di Antonio Guarino, è accompagnata da note esegetiche (1573)[175]. Il primo ampio commento, o meglio un'accurata parafrasi, è in latino e si deve ad Alessandro Piccolomini (1547)[176]; esso fu tradotto dal latino in italiano da Oreste Biringucci detto Vannocci (1582)[177].

La rinascita delle matematiche nel Cinquecento costituisce il contesto culturale in cui si inserisce l'interesse per la meccanica antica. Protagonisti di questa rinascita furono i cosiddetti 'restauratori' della matematica classica[178]; alcuni di essi affrontano direttamente lo studio della *Meccanica* aristotelica, altri vi si soffermano di scorcio, commentando autori diversi, oppure all'interno di loro opere.

A Niccolò Tartaglia, interessato sia alla meccanica antica sia a quella medievale, e traduttore degli *Elementi* di Euclide, si deve un primo commento specificamente matematico della *Meccanica*, limitatamente alle questioni sulla bilancia[179]. Francesco Maurolico espone il contenuto delle singole questioni trattate nella *Meccanica*, facendolo seguire da un breve commento; infine, presenta e discute, adottando lo stesso schema, questioni e problemi di meccanica propri[180].

Il *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte, pubblicato prima in latino, poi in italiano, fu forse il trattato più noto di meccanica, e destinato a imporsi come punto di riferimento per la sua ampiezza e sistematicità; anche nei commenti successivi della *Meccanica* saranno frequentemente proposte come confronto le sue soluzioni e le sue teorie[181]. L'opera aristotelica non perse tuttavia subito la sua influenza e il suo prestigio: pochi anni dopo, Bernardino Baldi scrisse uno dei più ampi commenti, che sarà pubblicato postumo. Le sue *Exerci-*

tationes non sono solo un commento: l'autore parte da Aristotele, ma aggiunge argomenti e discussioni, attento anche ad aspetti più tecnici riguardanti la costruzione delle macchine; alcune questioni gli offrono l'occasione per lunghe e articolate dissertazioni, del tutto autonome[182].

Parziale è invece il commento di Giovanni Battista Benedetti, che dedica solo alcuni capitoli alla *Meccanica*, in una sezione della sua opera[183].

Sul finire del Cinquecento, l'edizione di Henri de Monantheuil è la prima ad essere accompagnata da un esteso ed erudito commento sia filologico sia matematico[184]. La sua prefazione è ricca di interesse, perché vi si riflette molto bene quale straordinario impulso all'approfondimento e al rinnovamento sia derivato dalla conoscenza della letteratura tecnica e scientifica dell'antichità. Nel Seicento, sono pubblicati due voluminosi commenti, dovuti a Giuseppe Biancani[185] e a Giovanni di Guevara. Quest'ultimo, vescovo di Teano, scrisse più volte a Galileo per chiedere «qualche cenno» sul difficile problema ventiquattresimo della *Meccanica* (la cosiddetta 'ruota di Aristotele'): «[...] Hora la prego vivamente a favorirmi di qualche cenno sopra la materia che parlassimo insieme l'anno passato in Firenze, del vigesimo quarto problema mecanico di Aristotile, significandomi se vi è autore alcuno che ripruovi la solutione di Aristotile et con che raggione si muova, già che quelli pochi che io ho veduto non l'impugnano, e poi ciò che V. S. mi disse in voce di haver pensato per sciogliere la medesima difficoltà del detto problema con maggior chiarezza per altro termine, già che all'hora, per le molte distrattioni ch'io tenevo e per la alienatione da tali studi, non feci tutto il concetto che bisognava di quel che V. S. mi disse in voce alla sfuggita, et per conseguenza non posso haverne in tutto memoria [...] bacio affettuosamente le mani da un sito simile assai a quello del suo Bello Sguardo, dove mi pare spesso di essere, et godo almeno della memoria de' discorsi havutici con V. S. [...] la cui opinione nel particulare c'ho detto stimarò quanto devo; e se ricordi che me n'ha già dato in parte il possesso»[186].

Alcuni degli studiosi nominati insegnarono o studiarono nell'Università di Padova, dove, come sembra, per la prima

volta in Italia, si tennero lezioni basate sulla *Meccanica*, da parte di professori di matematica, tra cui Galileo[187].

È nota la conoscenza che Galileo aveva dell'opera di Aristotele e della *Meccanica*; si è anche ipotizzato che egli avesse scritto un commento della *Meccanica*, andato perduto[188]. Il confronto tra le concezioni di Aristotele e di Galileo è stato oggetto di molti studi e approfondimenti, tesi anche a cogliere la funzione e l'influsso che l'opera aristotelica ha avuto nella formazione della scienza moderna. In particolare, si è dato rilievo al fatto che la *Meccanica* sarebbe alla base delle lezioni di matematica tenute da Galileo nello Studio di Padova alla fine del Cinquecento. La bibliografia è ampia su questo argomento[189], e ricchi di interesse sono i risultati delle ricerche condotte; qui mi limito a citare questa lettera di Galileo, generalmente indicativa del suo interesse nei confronti della scienza aristotelica, e della sua valutazione: «Quanto poi al prometter altre mie fatiche, sappia V. S. che io ho buon numero di problemi e questioni spezzate, tutte, al mio consueto, nuove e con nuove dimostrazioni confermate. Sono ancora sul tirare avanti un mio concetto assai capriccioso; e questo è di portar, pur sempre in dialogo, una moltitudine di postille fatte intorno a' luoghi più importanti di tutti i libri di coloro che mi ànno scritto contro et anco di qualch'altro autore et in particolare di Aristotele, il quale nelle sue Questioni Mechaniche mi dà occasione di dichiarare diverse proposizioni belle, ma molto più ancora me ne dà nel trattato *De incessu animalium*, materia piena di cose ammirabili, come quelle che son fatte meccanicamente dalla natura; e qui mostro esser assai manchevole et in gran parte falsa la cognizione che dall'autore ci vien data»[190].

La maggior parte dei commenti costituisce non solo un contributo alla comprensione di un testo molto difficile, ma permette anche di seguire l'evolversi di discussioni su alcuni temi esaminati partendo dal prologo della *Meccanica*, e dominanti nella cultura del tempo. In genere emerge una relazione stretta tra chi studiò o commentò la *Meccanica* nel sedicesimo secolo, e chi contribuì alla nascita della meccanica moderna[191].

Si è detto della centralità che nei commenti hanno il rapporto tra arte e natura, il concetto di meraviglia[192] e di utilità, l'intervento e la volontà umana necessari a conseguire effetti vantaggiosi non altrimenti raggiungibili; anche l'impostazione degli studi di meccanica, privilegiando l'aspetto teorico, e l'applicazione di un metodo matematico a un oggetto fisico sono ampiamente valutate. Ancora più interessante è lo *status* della meccanica all'interno delle scienze, stabilito tenendo conto della riflessione aristotelica su questo argomento e delle classificazioni antiche.

Schematizzando, si può dire che fino al sedicesimo secolo lo studio del moto e del cambiamento rimane preferibilmente nell'ambito della *physica* o della *philosophia naturalis*[193]. Le questioni relative alla bilancia e alla leva rientrano nel Medio Evo nella *scientia de ponderibus*, considerata una branca della matematica e basata sulla statica di Archimede. La costruzione e l'uso delle macchine rientrano invece nelle *artes mechanicae* o *sellulariae* o *machinativae*, e hanno origine in un sapere spesso trasmesso oralmente. Quando si diffonde la conoscenza della *Meccanica*, ritenuta quasi unanimemente di Aristotele, come si è detto, si determinano, all'interno di queste tradizioni, nuovi orientamenti: essa attira, allo stesso modo, l'attenzione di letterati e umanisti, di filosofi, di matematici e ingegneri. Confluiscono così nella meccanica sia la tradizione legata ai nomi di Archimede e di Giordano Nemorario (Jordanus), sia il sapere pratico, costruttivo, sia la filosofia peripatetica[194]. Una costante preoccupazione fu in ogni caso quella di dare un posto definito alla meccanica, nell'ambito delle scienze.

Il trattato peripatetico non fu ovviamente la sola opera antica a promuovere l'emergere della meccanica come scienza distinta; fondamentali furono anche la diffusione dell'opera di Archimede, le edizioni e le traduzioni di Euclide, di Vitruvio, di Erone e Pappo[195]. L'autorità di Aristotele fu tuttavia determinante per considerare definitivamente la meccanica tra le scienze dimostrative, e includerla nell'ambito delle discipline matematiche. Questo ebbe anche dei risvolti istituzionali, in quanto nelle università, l'insegnamento della meccanica fu affidato alla cattedra di matematica[196]. La mediazione dei commenti rinascimentali fu inoltre molto importante per l'esten-

sione del modello meccanico e geometrico (applicato da Aristotele nell'analisi del movimento degli animali, nei due trattati sul *Moto* e sulla *Locomozione*) all'indagine biologica[197].

Il revival della *Meccanica* nel Rinascimento parte da Venezia, e si estende poi ad altri paesi europei[198]; in Italia esso assume tuttavia proporzioni molto più ampie, integrandosi nel vivacissimo recupero della tradizione greca e latina: l'attualità di quest'opera resta salda, almeno fino all'imporsi della meccanica di Galileo.

M.F.F.

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia sentita gratitudine al professor Giovanni Reale per aver accolto questo volume nella collana da lui diretta, e ai professori Guido Alliney, Marco Fantuzzi, Pietro Janni per i preziosi suggerimenti.

Note alla introduzione

* «[Efesto] faceva ben venti tripodi,
che stessero in piedi lungo le mura del livellato salone,
ed alla base di ognuno metteva rotelle d'oro,
perché da soli potessero andare al concilio divino
e poi fare ritorno nella sua casa, meraviglia a vedersi».
(Omero, *Iliade* 18, 373-377)

«Immaginiamo che ciascuno di noi esseri viventi sia come un mirabile burattino, costruito dagli dèi, non si sa se per gioco o per qualche serio motivo. Ciò che invece è dato di conoscere è che queste passioni, come fossero funi o corde inserite dentro di noi, applicando forze fra loro antagoniste, ci tirano verso quei comportamenti opposti che valgono a determinare la virtù e il vizio nelle loro differenze» (Platone, *Leggi* I 644 d-e).

«Si sa fino a qual punto sia giunta l'industria umana in certe macchine: gli effetti sono inconcepibili e appaiono miracolosi a coloro che non sono versati nella meccanica. Riunite qui tutte le meraviglie di cui avete avuto notizia: statue che camminano, mosche artificiali che volano e ronzano, ragni egualmente costruiti che filano la tela, uccelli che cantano, una testa d'oro che parla, un Pan che suona il flauto; anche a limitarsi alle generalità d'ogni specie, non si giungerebbe mai in fondo all'elenco di tutte le invenzioni dell'arte, che copia tanto gradevolmente la natura. Le celebri opere di Vulcano – i treppiedi che camminavano da soli nell'assemblea degli dèi, gli schiavi d'oro che sembravano aver appreso l'arte del loro padrone e che lavoravano presso di lui – sono meraviglie che non soverchiano la verosimiglianza, e gli dèi che ammiravano tanto tutto ciò erano evidentemente meno illuminati degli inventori meccanici d'oggi» (*Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*).

Le traduzioni dell'*Iliade*, delle *Leggi* e della voce *Anima delle bestie* sono tratte dalle seguente edizioni: Cerri 1999; Reale 2008 (la traduzione è di Roberto Radice); Casini 2003 (vd. qui la nota 166). I testi di Leonardo e di Galileo sono tratti rispettivamente dalle edizioni di Brizio (1980, p. 364) e di Gatto (2002, p. 5).

[1] Ci sono tuttavia indizi, nell'esposizione, che rinviano a un diretto rapporto tra maestro e allievo, vd. più avanti le note di commento,

e cfr. *Fisiognomica* 806 a 27, e nota relativa in Ferrini 2007, p. 218.

La cornice, che può essere un simposio o un incontro o una riunione, è invece curata in altre opere che appartengono allo stesso genere, come per esempio le varie *quaestiones* del *corpus* plutarcheo, vd. Ferrini 2002, p. XV.

Vd. nella nota 256 del commento al testo le interessanti e acute osservazioni di Arthur Schopenhauer sulla geometria di Euclide.

[2] Vd. Diogene Laerzio, *Vite dei filosofi* V 26 (123); su questa lista, sul catalogo anonimo alla fine della *Vita Menagiana* di Aristotele, il cosiddetto Anonimo di Menaggio, sul catalogo di Tolomeo, e sulle fonti, vd. Rose 1971, p. 8 ss. – a p. 17, l'autore, notando che nell'elenco di Diogene Laerzio, tutti i titoli da 118 a 125 indicano dei problemi, emenda il tràdito μηχανικὸν ᾱ in μηχανικῶν ᾱ; Moraux 1951.

[3] Cappelle 1812, p. 125, si sofferma sul titolo di quest'opera (αἰτιολογία τῆς τῶν μηχανικῶν ἐνεργίας, ὥς τινες λέγουσιν, Ἀριστοτέλους) nel codice B (Parisinus gr. 2507, del XV secolo), deducendo che nell'antichità ci fu qualcuno che dubitò dell'autenticità di questo scritto; vd. anche Bottecchia 2000, p. 29. All'interno dei codici che conservano le opere aristoteliche si individuano *corpora minora*, raggruppamenti e connessioni di trattati minori, in sequenze identiche o variate, da cui si possono trarre utili argomenti per la tradizione di un testo (vd. Harlfinger 1971, in partic. pp. 12; 30; 54; 64 s.; 164; 188; 205 s.; 260 s.: 282 ss.; 341; ; Sicherl 1997, in partic. pp. 85 ss.; 94 ss.). Per quanto riguarda il nostro testo, emergono le connessioni con questi trattati minori: *Colori*, *Linee indivisibili*, *Cose straordinarie*, *Pneuma*, e con i *Problemi*. Da notare che alla fine del compendio della filosofia aristotelica, scritto da Giorgio Pachimere, si trovano i compendi di *Colori*, *Linee indivisibili* e *Meccanica*, vd. Harlfinger 1971, pp. 345; 354; 357 n. 1; Ferrini 1999, p. 14 e n. 7.

[4] Rinvio qui alle mie introduzioni ai *Colori* (1999, p. 9 ss.; 2008, p. 41 s.), ai *Problemi* (2002, p. XVIII ss.), alla *Fisiognomica* (2007, p. 25 ss.) e ai *Suoni* (2008, p. 163 ss.).

[5] Vd. rispettivamente *Opus novum*, Prop. 109 e 114 (*Opera omnia* vol. IV, pp. 514 s.; 517); *Discussionum peripateticarum tomi IV*, I 3 pp. 18; 26. Patrizi aveva avanzato dei dubbi (I 7, p. 74) sull'autenticità del trattato sui *Colori*, vd. Ferrini 1999, p. 10, n. 1, e su altri trattati; suddivide in ogni caso tutte le opere del *Corpus* in sei gruppi: la *Meccanica* e le *Linee indivisibili* costituiscono il gruppo dei libri matematici (I 2, p. 14). L'editore Cappelle (1812, pp. 125-127), convinto sostenitore dell'autenticità, si sofferma sui giudizi di Cardano e di Patrizi, e non li interpreta come negazione della paternità aristotelica. In realtà, Cardano è più interessato a esprimere giudizi sulle singole questioni sollevate anche nei *Mechanica*, e a mettere in evidenza errori, che reputa difficilmente ascrivibili ad Aristotele. Vd. anche Nobis 1966, p. 275.

[6] Vd. ed. 1599, p. 1 s.

[7] Nella prima 'classe' vi sono i trattati di logica; nella seconda quelli di fisica; nella quarta i «libri metaphysici»; nella quinta, i trattati di etica, politica, retorica e poetica; nella sesta, «varia opera [...] quae ob quamcumque causam ad certum genus certamque classem referri nequeunt [...] 1 De mundo. 2 Physiognomica. 3 Problemata»; nella settima, i trattati considerati «suspectos & spurios [...] 1 Ventorum regiones & nomina. 2 De Nilo. 3 De coloribus. 4 De his quae sub auditum cadunt. 5 De spiritu. 6 De plantis. 7 De miraculis auditis. 8 De virtutibus [...]».

[8] 1854, pp. 190 e 192. Carteron ritiene la valutazione di Rose «trop rigoureuse», e considera la *Meccanica* uno scritto «de la première école», anteriore a Stratone (1979, p. 267).

[9] 1895, col. 1044 s.; egli formulò in questo modo la principale obiezione all'attribuzione dell'opera ad Aristotele: «Die Μηχανικά gehen von allgemeinen Gesichtspunkten aus, die denen der ältesten Generationen im Peripatos entsprechen, jedoch zielen die Probleme und Lösungen im einzelnen auf praktische Nutzanwendung hin, was [...] ganz unaristotelisch ist; sie können vielleicht der Richtung Stratons [...] angehören». Cfr. Düring 1968, coll. 160 e 315.

[10] Vd. Heiberg 1904, p. 29 ss.; Heath 1998 (1949), p. 227. Una compiuta esposizione e una esauriente discussione delle diverse opinioni espresse dal Cinquecento a oggi sono contenute in Krafft 1970, pp. 13-20; Bottecchia 2000, pp. 27-51.

A Euclide vengono attribuite, in fonti e manoscritti arabi e latini, opere di meccanica, vd. Heiberg 1960, p. 67; Clagett 1981, pp. 27 ss.; 43 ss.; Waschkies 1998, p. 391 s.; Fleury 2002, p. 268; Acerbi 2008, p. 2455 ss.

[11] Krafft (1970, p. 81) propone una datazione alta, almeno per la parte iniziale del trattato: la prima metà o il secondo terzo del IV secolo a. C.; e pensa a una redazione giovanile (p. 85).

[12] 1990, p. 52.

[13] Schneider 1989, p. 234 s.: l'autore considera non pertinente l'opinione di Gercke, secondo cui il trattato sarebbe «praxisorientiert». Dà inoltre rilievo, nell'affermare l'autenticità, a due aspetti per lui determinanti e meritevoli di considerazione: l'impostazione dell'opera secondo la tipica ricerca aristotelica delle cause, e l'affinità con il trattato sul *Moto degli animali*, in cui il movimento, dipendente da forze diverse (699 a 27 ss.), viene descritto con il ricorso a metodi geometrici (698 a 23 ss.; 702 b 28 ss.). Rifacendosi alle conclusioni di Martha Nussbaum che colloca il *Moto degli animali* nell'ultima fase dell'attività di Aristotele, si pronuncia per una datazione tarda anche della *Meccanica*.

Meno netta appare la posizione di Schneider in una sua recente pubblicazione (di carattere eminentemente espositivo): «Während

der Text des Archytas nicht überliefert ist, existiert im Corpus der Werke des Aristoteles eine Schrift mit dem Titel 'Mechanika', die entweder von Aristoteles selbst oder aber von einem seiner Schüler stammt» (2007, p. 101).

In studi recenti su questo trattato, non si è tornati a discutere sul problema; prevale tuttavia tra gli studiosi tedeschi l'opinione che la *Meccanica* sia da attribuire a Aristotele (vd. Oser-Grote 1997, p. 25 n. 2; Schürmann 1991, p. 48 ss.; 1997, p. 51 ss.); Flashar al contrario non la considera di Aristotele, ma la attribuisce senz'altro al primo Peripato (1983, p. 290). Zhmud, dopo un brevissimo accenno agli autori che si sono occupati della questione, a partire da Krafft, afferma che se il trattato non è di Aristotele, appartiene certamente al primo Peripato; nota anche tuttavia che la trattazione geometrica del movimento sarebbe «untypical for the Peripatetics»: «such a principle could have been introduced into mechanics only by a gifted mathematician» (2006, p. 97 s., n. 82 e 83). Berryman osserva che niente esclude in maniera definitiva la paternità aristotelica, pur essendo del parere che il trattato non sia probabilmente da ascrivere allo stesso Aristotele (2009, pp. 55; 106-114).

[14] 2000, p. 51.

Segnalo che nel dicembre del 2001 si è svolto a Padova un convegno dal titolo *La meccanica aristotelica rivisitata*, organizzato dal Centro Interuniversitario per la Storia della Tradizione e dall'Accademia Galileiana di Scienze, Lettere ed Arti.

[15] Vd. Ferrini 1999, pp. 11 s.; 32 ss. e *passim*; 2008, pp. 166 ss.; 371 ss. e *passim*.

[16] Vd. Ferrini 2007, pp. 26 ss.; 51 ss.; 59 ss. e *passim*.

[17] Vd. Ferrini 2002, pp. XIII ss.; XXI ss. e *passim*. Ai *Problemi*, Aristotele accenna anche nelle opere autentiche: questo argomento è stato addotto da chi ha voluto negare l'autenticità della *Meccanica*, opera a cui Aristotele non accenna mai. In realtà, i *Problemi* che noi possediamo sono molto probabilmente una raccolta che si è formata più tardi, vd. Flashar 1991, p. 356 ss.; cfr. Düring 1976, p. 341.

[18] Vd. Düring 1976, p. 310: nella *Metafisica* A 9, 992 a 10-24, «Aristotele utilizza argomenti che ritroviamo in una redazione più dettagliata nel trattato *Sulle linee indivisibili*»; vd. anche Timpanaro Cardini 1970, p. 14 ss.

[19] Carteron elenca alcuni passi della *Fisica* e del *Cielo* (secondo questo ordine: *Fisica* VII 5, 249 b 27-250 a 9; *Cielo* I 7, 275 a 7-10; 275 a 20; III 2, 301 b 4-13; I 6, 273 b 30; *Fisica* IV 8, 215 a 24), come i testi essenziali in cui sono contenuti i principi essenziali della meccanica aristotelica, ma si chiede subito dopo se sia lecito estrapolarli dal contesto e inserirli in un sistema, o parlare *tout-court* di meccanica aristotelica (1975, p. 161 s.). Passa poi ad analizzare alcuni concetti fondamentali della *Meccanica*. Vd. anche Carteron 1979.

Si osserva in genere che i trattati minori costituiscono essenzialmente degli sviluppi degli studi aristotelici di fisica.

[20] Confronti si possono stabilire anche con la *Meteorologia*. I rapporti della *Meccanica* con questi trattati sono richiamati nelle note di commento.

Sull'autenticità del *Moto degli animali* sono stati sollevati dubbi in passato, superati in studi più recenti (vd. Nussbaum 1985, p. 3 ss.) che hanno anche messo in rilievo i collegamenti con altre opere, e l' importanza del trattato all'interno del *C. A.* (vd. Düring 1976, p. 340 s.). A proposito della funzione dello pneuma, nell'argomentazione di questo trattato, adatto a 'muovere' e a procurare forza (10, 703 a 4 ss.; in particolare l. 18 s.: φαίνεται δ' εὐφυῶς ἔχον πρὸς τὸ κινητικὸν εἶναι καὶ παρέχειν ἰσχύν) e del confronto con *Pneuma* 8, 485 a 7 (τὸ πνεῦμα τὸ κινητικόν; vd. Roselli 1992, *ad loc.*), vd. Nussbaum 1985, p. 374 ss. Pugliara fa riferimento a questi passi, richiamando la distinzione delle macchine semoventi in 'meccaniche' e 'pneumatiche' (2003, p. 69).

Il trattato ha per oggetto il movimento degli animali considerato sia come mutamento sia come spostamento, e analizzato geometricamente: l'articolazione in un arto può essere interpretata come il centro di un cerchio, attorno a cui ruota un ipotetico raggio. Nei primi capitoli vengono richiamati concetti fondamentali, come la definizione di motore immobile e l'opposizione tra moto e quiete: «il moto è impossibile senza nulla che rimanga in quiete» (1, 698 a 15); così, negli animali, se una parte si muove, un'altra deve restare in quiete. «Questa è la ragione per cui gli animali sono dotati delle articolazioni. Essi fanno uso delle articolazioni come di un centro, e tutta la parte in cui è posta l'articolazione diventa sia una sia due, sia dritta sia curva, mutando in potenza e in atto grazie all'articolazione» (1, 698 a 17-21). Vengono proposti riferimenti cosmologici, anche se non si stabilisce una diretta analogia tra movimento celeste e animale: «il moto degli animali è in realtà l'unico moto esistente (ad eccezione di quello generale dell'universo) perché ogni moto, dice Aristotele, trova alla propria origine un essere animato» (Lanza 1996, p. 1251).

L'analisi del movimento è pertanto sia matematica sia fisica nel *Moto degli animali*, e viene completata da considerazioni di carattere fisiologico, e psicologico riguardanti il concetto di *orexis* e le sue estensioni (*epithymia*, *thymos*, *boulesis*), e il ruolo della *phantasia*. La distinzione tra i movimenti 'volontari', 'involontari' e 'non volontari', il concetto di 'alterazione' che si aggiunge a quello di 'spostamento', nel caso degli animali, comportano il ricorso alle qualità del 'caldo' e del 'freddo' intese anch'esse come cause del movimento (11, 703 b 3 ss.). Nella *Meccanica*, come tali sono considerate la 'pesantezza' e la 'leggerezza'.

Un'analisi puramente meccanica del movimento, avvalendosi ampiamente dell'esemplificazione geometrica e basandosi su un ridotto numero di principi, è condotta nel trattato sulla *Locomozione degli animali*. Il corpo dell'animale è considerato come una struttura a sei dimensioni o coordinate spaziali, riunite in tre coppie alto/ basso; anteriore/ posteriore; destra/ sinistra. Fattori essenziali di ogni tipo di movimento sono la trazione e la spinta, e la resistenza (*anteiresis*) offerta dal mezzo: senza di essa non è possibile il movimento. Quando un animale si muove almeno un punto del suo corpo deve restare immobile e a contatto con il mezzo. Sempre valendosi di schemi geometrici, Aristotele considera la necessità che gli arti siano articolati in modo da potersi flettere. La necessaria presenza di quattro punti di contatto con il mezzo pone il problema del movimento dei serpenti, e del bipedismo di uomini e uccelli. La discussione presuppone l'analisi del movimento nei libri VII-VIII della *Fisica*, e l'anatomia comparata delle *Parti degli animali* (vd. Vegetti 1996, p. 739 ss.). Vegetti ricorda che «i particolari caratteri del *de Incessu* fecero sì che esso non restasse senza echi nella fisiologia meccanicistica del Seicento, e specialmente in Borelli» (1996, p. 742).

La valutazione del numero minimo di punti con cui l'animale può muoversi (*Locomozione* 1, 704 a 9-12 e *passim*) è molto indicativa del ricorso a un modello geometrico in cui si considerano astrattamente punti, e non estensione di un corpo, come nella *Meccanica*. Si possono utilmente confrontare oltre al *Moto degli animali* (1, 698 a 16-b 1; 3, 699 a 20-22; 8, 702 a 21-31), la *Meteorologia* (III 3, 373 a 4-18; 5, 375 b 19-21; b 30; 376 b 28-377 a 1), la *Fisica* (IV 11, 219 b 15-18). Secondo un modello astratto, il corpo che si muove (o sue parti) può essere rappresentato come un corpo senza estensione, che occupa diversi punti dello spazio in tempi diversi.

[21] Vd. Flashar 1983, p. 290.

[22] Vd. più avanti, e nelle note di commento. Il problema della terminologia geometrica è complesso in quanto è frammentaria la documentazione scritta anteriore a Euclide. «L'unico sommario storico a nostra disposizione sulla geometria preeuclidea è dovuto a Proclo, che utilizza probabilmente di seconda mano la *Storia della geometria* di Eudemo di Rodi, allievo di Aristotele. Lo scopo principale di Proclo è di tracciare non già una storia della ricerca geometrica, ma una genealogia degli antenati di Euclide» (vd. Cambiano 2006, p. 31; cfr. Zhmud 2006, p. 179 ss.). La geometria antecedente a Euclide, definita sommariamente 'geometria preeuclidea', si configura come un insieme non unificato di contenuti e di tecniche di risoluzione e di prova, discusso in vari ambiti. La tradizione fa del pitagorismo un momento decisivo nello sviluppo della matematica; per Aristofane e per il suo pubblico, tuttavia, il personaggio rappresentativo per eccellenza, il geometra, è Talete (vd. *Nuvole* 180; *Uccelli* 1009; cfr. Platone, *Teeteto* 174 a).

[23] Flashar considera questo trattato, come gli altri con cui è confrontabile – *Pneuma*, *Suoni*, *Colori*, *Cose straordinarie* – di poco anteriore ai *Problemi* che egli data al III secolo a. C., a prescindere ovviamente dalla possibilità di aggiunte posteriori (1991, pp. 326; 356-358): prudentemente e giustamente, l'autore sottolinea che la collocazione di questi trattati prima dei *Problemi* vale semplicemente come «Vermutung» (p. 358), e che una sicura datazione dei *Problemi* non è possibile, allo stato delle cose (p. 356). Vd. anche Huffman 2007, pp. 76 s.; 531.

[24] Il diffuso ragionamento polare e il metodo diairetico vengono affinati nell'ambito dell'Accademia e del Peripato.

[25] Vd. la prima nota di commento al testo. Sia nella *Metafisica* (A 1, 980 a 21 ss.; 2, 982 b 12 ss.) sia nella *Fisica* (I 1, 184 a 10 ss.) si afferma programmaticamente la relazione tra il sapere e la conoscenza delle cause, e si mette in rilievo il carattere disinteressato della spiegazione causale.

Per il rapporto di Seneca con la tradizione platonico-aristotelica che indica nella meraviglia il motore della ricerca delle cause, e per l'accento che Seneca sembra porre sul valore del sapere in quanto da esso dipendono benefici etici, vd. Cambiano 2006, p. 256 ss.

[26] Negli esordi dei trattati minori sono invece talora contenuti degli spunti polemici nei confronti dei sostenitori di idee diverse, vd. *Suoni* 800 a 3 s.; nella *Fisiognomica*, la valutazione dei diversi metodi di indagine occupa molto spazio (805 a 18-806 a 18) dopo la breve introduzione, costituendone una significativa estensione: ciò è dovuto all'esigenza dell'autore di dare alla propria disciplina la dignità di *techne*.

Sugli esordi delle opere autentiche di Aristotele, vd. Fazzo 2003: fra i trattati, alcuni rientrano nella tipologia caratterizzata da un'introduzione contenente un riepilogo (finalizzato anche a connettere le diverse opere, e a dare coesione al *corpus* degli scritti) delle opere precedenti dedicate allo stesso ambito disciplinare. Più frequente e variamente articolato è l'*incipit* «con indicazione programmatica dell'argomento da trattare»; meno ricorrente è invece l'*incipit* «senza premesse né dichiarazioni preliminari» (p. 20 ss.). Aristotele «nell'articolare la sua filosofia enciclopedica in una serie di trattati dedicati a singoli argomenti e suddivisi per discipline» faceva qualcosa di nuovo, animato anche da «una cura di tipo pedagogico per il lettore o uditore» preoccupandosi di «renderlo partecipe delle motivazioni, sia riguardo alla selezione degli argomenti sia, all'occorrenza, riguardo al metodo dell'indagine e dell'esposizione» (p. 19).

[27] Vd. *Colori* 791 a 1 ss., e note di commento in Ferrini 1999 e 2008.

[28] Vd. *Suoni* 800 a 1 ss., e note di commento in Ferrini 2008.

[29] Vd. *Fisiognomica* 805 a 1-18; 808 b 11-30, e note di commento

in Ferrini 2007. *Problemi* e *Linee indivisibili* cominciano subito con una domanda, che si collega tuttavia con chiarezza a questioni discusse da Aristotele e dalla sua scuola; il trattato sui *mirabilia* mostra subito il suo carattere, consistente di appunti, di annotazioni, di *doxai*, che contraddistingue molta parte dell'attività di raccolta all'interno del Peripato.

[30] Vd. il famoso inizio della *Metafisica*: «Tutti gli uomini per natura tendono al sapere. Segno ne è l'amore per le sensazioni: infatti, essi amano le sensazioni per se stesse, anche indipendentemente dalla loro utilità – χωρὶς τῆς χρείας» (A 980 a 21-23); «È logico che chi per primo scoprì una qualunque arte, superando le comuni conoscenze sensibili, sia stato oggetto di ammirazione – θαυμάζεσθαι – da parte degli uomini, proprio in quanto sapiente e superiore agli altri, e non solo per l'utilità di qualcuna delle sue scoperte – μὴ μόνον διὰ τὸ χρήσιμον εἶναί τι τῶν εὑρεθέντων ἀλλ' ὡς σοφὸν καὶ διαφέροντα τῶν ἄλλων» (A 981 b 13-17).

[31] Oltre alle parti introduttive della *Fisica* e della *Metafisica*, già richiamate, si possono confrontare quelle del trattato sull'*Anima* (I 1, 402 a 1-4: «Poiché consideriamo il sapere – τὴν εἴδησιν – tra le cose belle e degne d'onore, e una forma di sapere più di un'altra o in rapporto al rigore o perché riguarda oggetti migliori e più mirabili – βελτιόνων τε καὶ θαυμασιωτέρων, per entrambi questi motivi possiamo ragionevolmente porre ai primi posti la ricerca sull'anima»; poco più avanti, Aristotele, in riferimento alle possibili definizioni dei *pathe* dell'anima, distingue diversi tipi di approccio: fisico, dialettico, matematico e metafisico, vd. 403 a 3-b 19), dell'*Etica Nicomachea* (I 1, 1094 a 1-8: «Ogni arte – τέχνη – e ogni ricerca scientifica – μέθοδος – e similmente ogni azione – πρᾶξις – e ogni scelta deliberata – προαίρεσις – tende, tutti ne convengono, a un bene; perciò a giusta ragione si è dichiarato che il bene è ciò a cui tutte le cose tendono. Ma vi è, in tutta evidenza, una certa differenza tra i fini: alcuni infatti sono attività – ἐνέργειαι, altri certe opere distinte dalle attività [...] poiché le azioni, le arti e le scienze sono molteplici, sono molteplici anche i fini»; 22-28: «Non è forse vero che anche per la vita la conoscenza del bene ha un gran peso – πρὸς τὸν βίον ἡ γνῶσις αὐτοῦ μεγάλην ἔχει ῥοπήν – e che, come arcieri che hanno un bersaglio, potremmo raggiungere meglio ciò che è nostro dovere? Se è così bisogna cercare di determinare, sia pure per linee generali, che cos'è il bene supremo e di quale delle scienze o delle potenze è oggetto. Tutti converranno che esso è oggetto della scienza più direttiva e architettonica al sommo grado: tale è manifestamente la politica»). L'*Etica Eudemia* ha inizio con il riferimento al contenuto di un'iscrizione, in un tempio di Delo, e con la sua citazione, vd. I 1, 1214 a 1-6.

[32] Aristotele distingue, come noto, tra *poiesis* 'produzione' e *praxis* 'azione', vd. *Etica Nicomachea* VI 4, 1140 a 1 ss. Questa distinzione

implica anche una 'disposizione', *hexis*, diversa; così la *techne* è diversa dalla *phronesis*. Il fine della produzione è infatti diverso dalla produzione stessa, mentre l'azione morale è «autotelica»; inoltre l'oggetto della produzione è distinto dal produrre, mentre l'oggetto dell'azione è l'azione stessa, vd. Zanatta 2007, *ad loc*.

Sulla correlazione tra i concetti di *metis* e di *mechane*, vd. più avanti, la sezione dedicata alla *mechane*. In Aristotele il termine *metis* ricorre soltanto nella citazione di un frammento di Empedocle (*Anima* III 3, 427 a 23; *Metafisica* Γ 5, 1009 b 18 s. = 31 B 106, I p. 350 D.-K.); subito dopo è citato un altro frammento di Empedocle: ai mutamenti subiti dagli uomini, nel loro stato fisico, corrisponde un mutamento di pensiero (*to phronein*; *Anima* III 3, 427 a 24 s.; *Metafisica* Γ 5, 1009 b 20 s. = 31 B 108, I p. 351 D.-K.). La *phronesis*, distinta dalla *sophia*, è essenzialmente, da Aristotele in poi, l'intelligenza pratica, la capacità di ben deliberare intorno a ciò che è bene e male per l'uomo, individuando i mezzi adatti a raggiungere certi fini. Essa si definisce anche in relazione al concetto di *deinotes*, 'abilità' (vd. *Etica Nicomachea* VI 13, 1143 b 18-1145 a 11). I concetti di *metis*, di *phronesis* e di *deinotes* rinviano a momenti e a riflessioni distanti anche nel tempo; forse, nel prologo della *Meccanica* si avvicinano l'abilità di deliberare in vista di un bene e la capacità di fare le cose in funzione di un fine.

[33] Le *technai* sono di fatto intese come *dynameis*: al pari delle scienze, inducono cambiamenti, vd. *Etica Nicomachea* I 1, 1094 a 9 ss.; *Metafisica* Θ 2, 1046 b 2-4: «tutte le arti e le scienze poietiche sono potenze – δυνάμεις: infatti, sono princìpi di mutamento in altro o nella cosa stessa in quanto altra».

[34] Essa risponde a un desiderio di organicità e non contrasta necessariamente con il principio più volte espresso, secondo cui nelle dimostrazioni non si può passare da un ambito a un altro, vd. *Analitici secondi* I 7, 75 a 38 ss.

[35] Vd. gli *incipit* della *Meteorologia*, *Percezione e percepibili*, *Moto degli animali* (sulla problematicità dell'esordio, si sofferma Fazzo 2003, p. 40 ss.), *Riproduzione degli animali*.

[36] Nel trattato sull'*Anima*, si considerano vari tipi di approccio allo studio e alla definizione di *pathe* diversi, come si è accennato: «Sembra che anche le affezioni dell'anima abbiano tutte un legame con il corpo [...] Di conseguenza le loro definizioni saranno, ad esempio, di questo tipo: 'la collera è un certo movimento di tale corpo o parte o facoltà, prodotto da tale causa e avente tale fine'. Per queste ragioni è senz'altro compito del fisico trattare dell'anima [...] Il fisico e il dialettico definirebbero però ciascuna di queste affezioni in modo diverso [...] il fisico indica la materia, il dialettico la forma e l'essenza [...] In effetti il fisico si occupa di tutte le attività e affezioni di un determinato corpo e di una determinata materia, mentre

delle caratteristiche dei corpi che non sono di questo tipo se ne occupa un altro: di alcune si interessa il tecnico secondo i casi, ad esempio l'architetto o il medico. Le caratteristiche, poi, che non sono separabili, e tuttavia non vengono considerate in quanto affezioni di un determinato corpo e sono ottenute per astrazione, le studia il matematico. In quanto invece sono separate, le considera il filosofo primo» (I 1, 403 a 16-b 16; vd. Movia 1991, p. 225 ss.). Vd. anche *Parti d. an*. I 1, 639 b 3-10: «Occorre dunque non restare nell'incertezza sul modo di condurre la ricerca, se si debba cioè partire da osservazioni comuni, secondo i generi, e poi da ultimo venire alle particolarità specifiche, oppure iniziare subito con l'indagine specie per specie. Questo problema, in effetti, non è stato finora risolto, e neppure quest'altro che sto per formulare: deve lo studioso della natura – al modo stesso dei matematici nelle loro esposizioni sull'astronomia – osservare prima i fenomeni relativi agli animali e le parti di ognuno di essi, per poi spiegare il perché e le cause, oppure procedere in qualche altro modo?».

[37] Vd. Ferrini 2007, p. 89 ss. e *passim*. Si notano punti di contatto tra gli esordi di queste due opere, dato che entrambe propongono l'emergere di attività nel panorama delle nuove *technai*. Dopo ciò che può essere considerato il vero e proprio esordio, nella *Fisiognomica*, è tuttavia inserita una valutazione dei possibili metodi di indagine, con accenti anche polemici che mancano del tutto nella *Meccanica*, dove si entra subito nel vivo della trattazione.

[38] L'individuazione di ciò che è comune (*to koinon*) e di ciò che è specifico (*to idion*) costituisce un impegno programmatico, costantemente perseguito nelle opere biologiche, vd. il passo appena citato delle *Parti d. an*. I 1, 639 b 3 ss.; *Percezione e percepibili* 1, 436 a 1 ss. (vd. anche, nel commento al testo, la nota 16). Sulla distinzione tra principi propri e principi comuni, vd. *Analitici secondi* I 10, 76 a 37 ss.; 11, 77 a 26 ss. Cfr. Platone, *Repubblica* VII 531 c.

[39] Si potrebbe pensare che l'espressione *physika problemata* sia un diretto rinvio ai *Problemata* del *C. A.*; in realtà, la raccolta di *problemata*, così come di materiale documentario e dossografico di vario genere, faceva parte dell'attività del Peripato, e poteva costituire anche un modo abituale di discutere e di portare avanti la ricerca e l'insegnamento, all'interno della scuola. Ancora, è da notare che Aristotele utilizza la dicitura, il 'titolo', *Problemata*, quando vi fa riferimento. Molto incerta è inoltre la datazione delle due opere, come si è visto; non si possono pertanto stabilire priorità di composizione.

Il nesso *physika problemata* fa da riscontro chiasticamente al precedente nesso *problemata mechanika*.

[40] I 14, 105 b 19-25. Cfr. *Poetica* 25, 1460 b 6; 21 s.

[41] N 6, 1093 b 15 (ἐκ τῶν μαθηματικῶν θεωρημάτων); cfr. 2, 1090 a 13 s. (τὰ θεωρήματα τῶν ἀριθμητικῶν); 3, 1090 b 28; M 8, 1083 b

18 s.; *Meteorologia* I 3, 339 b 8 e 37; 8, 345 b 1 s. La sezione XV dei *Problemi* ha per titolo: ὅσα μαθηματικῆς μετέχει θεωρίας. La ricorrenza del termine *theorema* nella *Metafisica* viene segnalata da Mugler come anticipazione dell'uso tecnico del termine *theorema*, nome designante l'enunciato e la dimostrazione di una proprietà geometrica (1958, p. 220).

[42] L'autore parla di *theoremata mathematika*; il riferimento è in ogni caso a una matematica applicata, alla geometria, e a una scienza che concerne la dimostrazione, il 'come' e il 'perché'. In età tardoantica, la meccanica è annoverata nella matematica, o accostata a essa come disciplina applicata, vd. Meißner 2005, p. 129.

[43] Vd. Longo 2003, p. 66. Meißner 2005, p. 131 s. sottolinea che la meccanica, nella *Metafisica* e negli *Analitici secondi*, è considerata una disciplina matematica, che tratta i propri oggetti come grandezze, valori numerici e figure geometriche. Nella *Meccanica* essa è invece messa in rapporto con la fisica e con la matematica: ciò che lega la meccanica alla fisica in senso aristotelico è che entrambe hanno per oggetto il movimento; la fisica si occupa tuttavia di movimenti naturali (cioè di movimenti verso i 'luoghi naturali'), mentre la meccanica subordina i movimenti all'intento umano. Nel corso naturale delle cose, i vantaggi per l'uomo sono affidati al caso, nella meccanica sono al contrario costitutivi.

[44] Vd., oltre ai passi della *Metafisica* citati nelle note precedenti, *Fisica* II 2, 193 b 22-194 a 12: «Dopo aver definito in quanti modi si dice 'natura', dobbiamo prendere in esame in che cosa il matematico differisce dal fisico. In effetti i corpi fisici posseggono superfici e volumi, linee e punti, sui quali indaga il matematico [...] Di queste cose, dunque, tratta anche il matematico – ma non in quanto ciascuna di esse costituisca un limite del corpo fisico –, né egli esamina gli attributi in quanto questi si predicano di queste realtà. Ed è per questo motivo che egli li separa, perché essi sono, sul piano conoscitivo, separabili dal movimento né, se vengono separati, questo fa alcuna differenza né si produce errore. Anche quanti sostengono la dottrina delle idee fanno la stessa cosa, ma senza rendersene conto. Essi infatti separano gli oggetti fisici, che pure sono meno separabili di quanto non lo siano gli enti matematici. Questo diviene subito chiaro, non appena uno si sforza di dire le definizioni di entrambi, ossia quelle delle cose stesse e dei loro attributi. Da un lato, infatti, dispari e pari, retta e curva, e d'altro lato numero, linea e figura esistono senza movimento; mentre carne, ossa e uomo, non sono mai tali, ma queste ultime si dicono come quando parliamo di 'naso camuso', non di 'linea curva'. E ciò appare anche dalla scienze che più sono fisiche fra quelle matematiche, come ad esempio ottica, armonica e astronomia: queste scienze, infatti, sono l'inverso della geometria. La geometria indaga sulle linee fisiche, ma non in quanto fisiche; l'ottica invece fa

oggetto di indagine le linee matematiche, ma non in quanto matematiche, bensì in quanto fisiche».

[45] Vd. *Fisica* II 2, 194 a 7-12; *Metafisica* **B** 2, 997 b 20-998 a 6; **Λ** 8, 1073 b 3-8; **M** 2, 1077 a 1-6; 3, 1078 a 14-17.

[46] I 13, 78 b 34-79 a 16, vd. anche 7, 75 b 12-20; 9, 76 a 9-15; a 22-25 («la dimostrazione non si adatta ad un altro genere se non come si è detto che si adattano le dimostrazioni geometriche a quelle meccaniche – αἱ γεωμετρικαὶ ἐπὶ τὰς μηχανικάς – o a quelle ottiche e quelle aritmetiche a quelle armoniche»); 14, 79 a 17 ss.

Aristotele ha già espresso il divieto di passare da un genere all'altro (vd. I 7, 75 a 38-b 20); come sia possibile applicare la geometria alla medicina, non è pertanto ben chiaro. In realtà, la questione appare più complessa, implicando ogni volta differenze o analogie sia nei criteri che sostengono l'indagine sulle cause, sia nella natura e negli accidenti degli oggetti indagati.

Il confronto con gli *Analitici secondi* è significativo, in quanto in essi si tratta della scienza (e della conoscenza) dimostrativa; si ritiene che Aristotele abbia teorizzato ciò che i geometri greci praticavano, basando sulla loro pratica la propria nozione di scienza dimostrativa, vd. Barnes in Mignucci 2007, p. X.

Secondo la testimonianza di Cassio Iatrosofista, anche il medico Erofilo si servì di una dimostrazione geometrica nello spiegare perché le ferite circolari guariscono più difficilmente, vd. fr. 236 von Staden (=Ideler I p. 144). La questione ben nota fu così per la prima volta, come sembra, spiegata con una prova matematica, vd. von Staden 1996, p. 90.

Negli *Analitici secondi* si pongono le condizioni di un passaggio dal metodo ipotetico al metodo assiomatico (I 2, 72 a 15-24), che si opera nella matematica da Ippocrate di Chio a Euclide (vd. Giannantoni 1984, p. 54); è noto che alla geometria greca è connesso lo sviluppo del concetto di prova. In essi Aristotele delinea un modello di scienza e distingue tra diversi tipi di principi indimostrabili, ispirandosi ai procedimenti dimostrativi della geometria greca anteriore a Euclide, e applicati anche nella dialettica platonica (vd. Sanguineti 1992, p. 44 ss.). Per un confronto tra l'analisi euclidea e l'analitica aristotelica, vd. Berti 1984; Kullmann 1998, pp. 81-97. Cambiano sottolinea opportunamente: «Il fatto che per Aristotele la geometria sia un sistema di elementi, un ordine necessario di conseguenze e antecedenze tra le proposizioni, non implica che la geometria che egli conosce sia già quella degli *Elementi* di Euclide. Infatti egli cita un certo numero di teoremi, noti anche ad Euclide, ma con dimostrazioni diverse, e conosce teoremi che non compaiono negli *Elementi*. Ma la struttura dell'opera di Euclide presenta grandi affinità con il modello aristotelico della scienza. Su questa base gli storici della matematica hanno sovente confrontato le nozioni comuni (κοιναὶ ἔν-

νοιαι), le definizioni (ὅροι) e i postulati (αἰτήματα) – cioè i principi che Euclide pone all'inizio della sua opera – con i concetti aristotelici di assioma, definizione, ipotesi e postulato. Per quel che ne sappiamo, il primo a istituire questo confronto fu Proclo» (2006, p. 26 s.; vd. anche Cambiano 1992, p. 94 ss.).

Per la critica degli Scettici al metodo assiomatico della geometria, vd. Mueller 1982, p. 69 ss.

[47] I 27, 87 a 31-33; il passo continua proponendo una distinzione tra aritmetica e geometria: le entità geometriche sono 'per addizione' rispetto a quelle aritmetiche perché richiedono l'aggiunta della 'posizione', cioè un riferimento spaziale che non è necessario per i numeri, vd. ll. 33-37. Cfr. *Cielo* III 1, 299 a 15-17: degli enti matematici si parla per astrazione/sottrazione, di quelli fisici per addizione.

Cambiano delinea alcune differenze con la posizione di Archimede: «Tra gli esempi di subordinazione, fatti da Aristotele, ricorre anche quello della meccanica rispetto alla geometria e, con ulteriore specificazione, della meccanica rispetto alla stereometria. Ma in quest'ultimo passo Aristotele collega il primato della stereometria al fatto di θεωρεῖν il διότι, il 'perché', rispetto al θεωρεῖν lo ὅτι, il 'che', che apparterrebbe invece a scienze subordinate, quali appunto la meccanica. Occorre qui registrare alcune differenze decisive rispetto alla prospettiva di Archimede. In primo luogo Archimede usa i termini "dimostrazione" e "dimostrare" seguiti indifferentemente da ὅτι e da διότι, mentre Aristotele tende a distinguerli e a connettere la vera *episteme* al διότι, anche se talvolta ammette la possibilità di un'*apodeixis* anche dello ὅτι. Sembra quindi difficile sostenere che per Archimede la scoperta coincidesse con il 'sapere che', ossia con un accertamento di fatto non accompagnato da argomentazioni, e la dimostrazione, invece, col 'sapere perché'. In secondo luogo tra geometria e meccanica Archimede stabiliva di fatto la relazione esattamente inversa rispetto a quella prevista da Aristotele come accettabile. Un'ulteriore differenza è poi data dal fatto che Archimede limitava l'ammissibilità di questa relazione al processo di indagine che conduce alla scoperta, mentre nell'ambito della dimostrazione ripristinava l'omogeneità strettamente geometrica. Su questa linea la procedura archimedea non mancava di predecessori e non aveva certo bisogno di prestare ascolto al divieto aristotelico sull'intransitabilità dei campi di scienze distinte. Basti pensare alla descrizione del lavoro di Archita secondo lo schema del 'primo inventore', fornita da Diogene Laerzio: Archita per primo indagò questioni meccaniche mediante le matematiche e per primo introdusse il movimento nelle dimostrazioni geometriche. Non credo che si possa prestare grande credito alla leggenda di un Archimede ostile alla meccanica, nata probabilmente in più tardi ambienti platonici e di cui Plutarco è eloquente testimonianza» (2006, p. 126 s.).

[48] Vd. *Metafisica* K 3, 1061 a 28-32; il passo così continua: «il matematico mantiene soltanto la quantità ed il continuo, a una, a due o a tre dimensioni, e studia gli attributi che a questi competono in quanto sono appunto quantità e continuo e non li considera sotto alcun altro rispetto. Di alcuni oggetti, poi, il matematico studia le posizioni reciproche ed i caratteri che a loro competono; di altri i rapporti di commensurabilità e di incommensurabilità, di altri ancora le proporzioni: eppure, di tutti questi oggetti poniamo una medesima scienza, cioè la geometria» (1061 a 32-b 3); vd. anche B 2, 997 b 25-998 a 6; Z 10, 1036 a 2-12 (si distinguono il cerchio intelligibile, matematico, e il cerchio sensibile, di bronzo o di legno per esempio); 11, 1036 b 32-1037 a 5; Λ 8, 1073 b 6-8; M 2, 1077 a 2 s.; M 3, 1078 a 17-31; *Anima* I 1, 403 b 14 s. Il numero è tra le quantità discrete; la linea invece è una quantità continua, vd. *Categorie* 6, 4 b 20-31; cfr. *Metafisica* Δ 13, 1020 a 7-14.

[49] Si potrebbe dire che come la fisica aristotelica non studia solo la forma o solo la materia, ma tiene conto di entrambe (vd. per es. *Anima* I 1, 403 a 29-b 19; *Parti d. an.* I 5, 645 a 30-36), così la meccanica aristotelica ripropone, a suo modo, un'unità tra l'oggetto e la sua 'forma' geometrica.

[50] La matematizzazione del movimento è tentata da Aristotele in modo particolare nella *Fisica* e nel trattato sul *Cielo*. A proposito delle relazioni quantitative stabilite nella *Fisica* VII 5, 250 a 1 ss., Russo commenta: «Le 'forze', i 'tempi', e le 'lunghezze' di cui parla non sono [...] enti interni a una teoria scientifica, ma sono concepiti come oggetti concreti, dei quali è possibile comprendere le necessarie relazioni reciproche attraverso la speculazione filosofica. Egli accenna a un dato empirico (l'impossibilità per un uomo solo di spostare una nave), ma l'argomentazione decisiva sarà che la parte considerata di forza agisce in modo diverso a seconda che sia isolata o inserita nel tutto, perché nel secondo caso la parte esiste solo in potenza. L'accenno al dato empirico è quindi in realtà essenzialmente illustrativo. Si cerca di dedurre affermazioni quantitative su particolari fenomeni fisici direttamente da principi filosofici generali, trovati grazie all'osservazione qualitativa della natura. La confutazione dell'argomentazione aristotelica da parte di Archimede [...] fu molto persuasiva. Archimede avrebbe progettato, all'interno della sua 'teoria scientifica' della meccanica, un congegno con il quale un uomo solo [...] sarebbe riuscito a spingere in acqua una nave tirata in secco nel porto di Siracusa [...] La macchina aveva proprio la funzione di effettuare quella divisione della forza che Aristotele aveva giudicato impossibile e che in effetti nel caso particolare della nave non aveva precedenti. Era un modo chiarissimo di dimostrare la superiorità del metodo 'scientifico' [...] sulla filosofia naturale. Anziché riflettere il mondo nella speculazione filosofica, il metodo scientifico aveva per-

messo di cambiarlo, progettando una macchina che annullava l'impossibilità osservata da Aristotele» (1998, p. 43 s.).

[51] Vd. oltre ai passi già citati, *Metafisica* Δ 14, 1020 b 2 ss.

[52] Con un adagio della tarda scolastica, si potrebbe compendiare la centralità che il movimento ha in Aristotele: *ignorato motu ignoratur natura*.

[53] *Vite dei filosofi* VIII 83=47 A 1, I p. 421 s. D.-K.: οὗτος πρῶτος τὰ μηχανικὰ ταῖς μαθηματικαῖς προσχρησάμενος ἀρχαῖς μεθώδευσε καὶ πρῶτος κίνησιν ὀργανικὴν διαγράμματι γεωμετρικῷ προσήγαγε κτλ. Diogene Laerzio (VIII 82) ricorda quattro personaggi col nome di Archita: l'Archita di cui si parla, di Taranto; un *mousikos* di Mitilene; un autore di un trattato di agricoltura; un compositore di epigrammi; aggiunge anche che alcuni nominano un quinto Archita, architetto, cui viene attribuito un libro di meccanica – Περὶ μηχανῆς – che comincia così: «Queste cose imparai da Teucro Cartaginese». Su Archita, vd. Cambiano 2006, p. 151 ss.; Huffman 2007. Per il collegamento tra la meccanica di Archita (vd. anche A 47, 23-23 a, I. p. 430 D.-K.) e la *Meccanica* aristotelica, vd. Krafft 1970, pp. 3 ss.; 144 ss.; Zhmud 2006, p. 97. Vd. anche la nota 57.

Ferrari (1984, p. 251 s.) definisce la *Meccanica* «un'opera inaugurale», nel senso che non si rifà ad alcuna tradizione precedente: è possibile che già da prima esistessero altri trattati con questo nome o che così furono denominati in seguito, come quello attribuito ad Archita, «ma, per quanto ne sappiamo, erano trattati costruttivi». Cambiano mette in evidenza che tra i Greci di Occidente si costituiscono i primi elementi di una riflessione sulla meccanica, «intesa non tanto in senso moderno come disciplina ben articolata in statica e dinamica, quanto come studio, mediante concetti matematici, di congegni e macchine, μηχανήματα, e del loro funzionamento» (2006, p. 159).

Il riferimento è forse alla *Repubblica* VII 528 b: «Dopo la superficie abbiamo preso il solido già in rivoluzione, prima di considerarlo in sé e per sé: è invece corretto considerare, dopo la seconda, la terza dimensione. Si tratta cioè della dimensione propria del cubo, che comporta la profondità» (528 a-b). L'accenno è alla geometria solida, la cui importanza non può essere ignorata; alla base dell'astronomia, come scienza dei solidi in movimento, c'è la geometria. Il problema della duplicazione del cubo è uno dei problemi più famosi e studiati della geometria greca; sulle fonti antiche e sulla loro valutazione vd. Knorr 1986, p. 17 ss. e *passim*; Huffman 2007, p. 342 ss. e *passim* («Archytas' solution to the problem of the duplication of the cube was probably complete by 375 but would not, in itself, constitute the establishment of a discipline», p. 389); Acerbi 2008, p. 79 ss. Knorr (1986) ha giustamente insistito sull'importanza centrale della tradizione geometrica di problemi, indagati anche per via meccanica; vd. anche Netz 2003.

Il termine διάγραμμα indica il disegno che serve a spiegare un ragionamento o una costruzione geometrica; esso è frequentemente utilizzato prima di Euclide, e ricompare in Pappo: nel linguaggio classico della geometria è impiegato con questo significato il termine καταγραφή (vd. Mugler 1958, p. 127).

Con la testimonianza di Diogene Laerzio (sulla quale vd. Huffman 2007, p. 79 ss.) sembra concordare Proclo, quando ricorda Archita tra coloro che contribuirono a dare una *systasis* più scientifica alla geometria, vd. *Commento al I libro degli Elementi di Euclide*, Prologo II, p. 66, 4-18 Friedlein.

[54] *Notti attiche* X 12, 9-10. Aristotele, nella *Politica* VIII 6, 1340 b 25-31, ricorda l'invenzione, divenuta proverbiale, della 'nacchera' di Archita; cfr. Apollonio Rodio, *Argonautiche* II 1055; Plutarco, *Questioni conviviali* VII 10, 1 (714 e).

[55] *Vita di Marcello* 14, 9-11 (305 d-f); cfr. Polibio VIII 5-9; Livio XXIV 34.

In Plutarco, gli interessi pratici di Eudosso e di Archita sono oggetto del rimprovero di Platone; anche altrove Plutarco ricorda Archita come bersaglio di Platone, insieme con Eudosso e Menecmo, vd. *Questioni conviviali* VIII 2, 1 (718 e-f); cfr. *L'E di Delfi* 6, 386 e («Una volta che l'oracolo impose di duplicare il volume dell'altare di Delo – problema che richiede una suprema abilità geometrica – Platone disse che non questo ordinava in realtà il dio, ma invitava i Greci a darsi alla geometria»); *Il demone di Socrate* 579 b-c; Vitruvio, *Architettura* IX prefazione 13-14.

Non è chiaro quanto in Plutarco sia frutto di invenzione o derivi da tradizioni precedenti; certamente le sue affermazioni influirono nel fare di Archita il fondatore della meccanica. Vd. Georgiadou 1992; Isnardi Parente (1992, p. 121 ss., mette in evidenza la forzatura platonizzante di Plutarco, ma soprattutto la condanna di Archita e di Eudosso da parte di Plutarco, in accordo con la sua polemica nei confronti della matematica ellenistica); Tybjerg 2004, p. 45 s.; Huffman 2007, p. 78 s.; Berryman 2009, p. 87 ss.

Sui due passi di Plutarco (*Questioni conviviali* VIII 2, 1, 718 e-f, e *Vita di Marcello* 14, 9-11, 305 d-f) è stata fondata la tesi secondo cui la limitazione della geometria all'uso di riga e compasso sarebbe da attribuire a Platone. A questo proposito, Micheli osserva: «Da un lato si hanno due testimonianze di Plutarco, in una delle quali si afferma che coloro che gravitano attorno ad Archita, Eudosso e Menecmo, riconducendo la soluzione del problema delico a costruzioni strumentali e meccaniche [...] distruggerebbero ciò che vi è di buono nella geometria [...] portandola nell'ambito degli oggetti sensibili. Dall'altro Platone è accreditato di una soluzione meccanica del problema delico da parte di Eutocio» (1995, p. 19). Sull'affermazione di Plutarco secondo cui Archimede non lasciò scritti sui *mechane-*

mata, e sull'attendibilità dell'immagine plutarchea di un Archimede platonizzante, contemplativo e antibanausico, vd. Cambiano 2006, p. 147 ss. (cfr. p. 127).

[56] 47 B 1, I p. 431 s. D.-K. (p. 56 Düring). Un confronto tra l'affermazione di Archita riguardo alle scienze 'sorelle' e una analoga nella *Repubblica* di Platone (530 d: «È probabile che come gli occhi sono conformati per l'astronomia, così gli orecchi lo siano per il moto armonico, e che queste due scienze siano in un certo senso fra loro sorelle, come dicono i Pitagorici e anche noi, Glaucone, conveniamo») è condotto da Cambiano (2006, p. 165 ss.). In questo passo della *Repubblica* la parentela è stabilita solo fra astronomia e armonica; inoltre, le varie discipline (aritmetica, geometria, stereometria, astronomia, armonica) sono elencate secondo una diversa sequenza, e soprattutto sono viste come propedeutiche alla dialettica. Vd. anche la nota 58.

[57] Per la teoria della *plege*, e per il rapporto stabilito tra movimento rapido e suono acuto, e tra movimento lento e suono grave, rimando alla mia introduzione al trattato sui *Suoni* (2008, pp. 180 ss.; 189 ss.) e alle note di commento. In base a ciò che conosciamo dell'analisi di Archita, riguardante sia il suono sia la visione, egli si rivela interessato a formulare 'leggi' in modo matematico, basandosi su rapporti numerici e su diagrammi geometrici: in questo senso gli si può riconoscere un posto anche nella storia della meccanica. Il contributo di Archita alla meccanica è riassunto da Huffman in tre punti: 1 «he was willing to apply mathematics to the physical world»; 2 «he developed a demonstration in solid geometry (the duplication of the cube), which is crucial to mechanics»; 3 «he was himself willing to devise a mechanical device, the wooden dove». Ciò tuttavia non autorizza a concludere, aggiunge l'autore, «that Archytas has defined a distinct discipline of mechanics or that he was the author of a treatise specifically on mechanics» (2007, p. 83).

[58] Confrontabile è l'enumerazione dei saperi matematici nel settimo libro della *Repubblica* di Platone, disposti e considerati secondo un ordine dimensionale: l'unità, il punto (aritmetica e logistica), la linea (geometria piana), il solido (stereometria), il solido in movimento (astronomia), il moto armonico (armonia e musica), vd. Vegetti 2007, p. 188; sul rapporto tra i due testi, vd. Cambiano 2006, p. 165 ss.; Huffman 2007, pp. 76 s.; 388 ss.; 559 s.

Platone mostra di conoscere bene anche i fenomeni ottici; proprio nello stesso libro, Glaucone fa riferimento agli effetti prospettici della visione, 523 b; cfr. II 365 c; X 602 d.

[59] Vd. 47 A 25, I p. 431 D.-K. Huffman si domanda che cosa abbia portato Aristotele a mettere in evidenza l'ottica (non nominata né da Archita né da Platone, forse perché non riconosciuta «as a distinct mathematical discipline»), come disciplina dipendente dalla

geometria; la risposta è che nel frattempo qualcuno per la prima volta la rese un insieme coerente: «The natural suggestion is that this someone is Archytas». All'analisi della visione, in gran parte fisica, contenuta nel *Timeo* di Platone, egli avrebbe risposto con un'impostazione essenzialmente matematica, in accordo con la sua tendenza a trattare gli oggetti fisici quasi come oggetti matematici: «Archytas' use of the bare visual ray is parallel to Euclid's approach some fifthy years later» (2007, pp. 559; 562 s.). Questa interpretazione di Huffman, relativa all'importanza della matematica in Archita, è condivisibile solo se contestualizzata.

[60] Come l'armonica è subordinata all'aritmetica; vd. I 13, 78 b 37 s.: il testo è citato più estesamente sopra. L'ammirazione di Aristotele per Archita è evidente da un passo della *Metafisica* (Η 2, 1043 a 14-26) in cui egli fa riferimento alla dottrina della definizione di Archita; cfr. *Retorica* III 11, 1412 a 11-15; *Politica* VIII 6, 1340 a 25-31; *Problemi* XVI 9, 915 a 25-32: su questo passo e sul confronto con la *Meccanica*, vd. nel commento al testo la nota 173.

Si ritiene che esistano delle significative somiglianze tra Archita e Aristotele nel ricorso alla matematica. In particolare, se la dinamica di Aristotele costituisce un tentativo di portare i fenomeni fisici nel dominio di una *ratio* matematica, questo tentativo deve molto a Archita, vd. Huffman 2007, p. 88 s.

[61] Vd. 42 A 1-6, I pp. 395-397 D.-K.; 44 A 6; 7a; 19, I pp. 399; 404 D.-K.

[62] *Repubblica* VII 525 a (cfr. *Leggi* VII 819 d ss.); 526 c; 527 d; 528 a-e.

[63] Vd. *Repubblica* VI 504 d: il μέγιστον μάθημα è la meta dell'educazione filosofica. Anche se questa 'conoscenza massima' si ha solo quando l'anima si libera completamente dal sensibile per raggiungere l'essere puro delle Idee, «la lunga strada dell'essere» passa attraverso queste scienze, in quanto esse «costringono l'anima ad avvalersi dell'intelligenza e la portano a contatto con una parte dell'essere privilegiato (gli enti e le leggi matematico-geometriche)», Reale 1994, II p. 315. La geometria costituisce un sapere necessario, pur se solo preliminare, vd. *Repubblica* VII 526 d-e: «Bisogna indagare se la parte principale e più avanzata della geometria tenda a quel nostro fine, ad agevolare cioè la visione dell'idea del buono. Noi affermiamo che tende in questa direzione tutto ciò che costringe l'anima a rivolgersi verso quel luogo nel quale si trova la parte più felice dell'essere, che essa deve in ogni modo vedere»; cfr. 533 b-d.

[64] Vd. *Repubblica* VII 526-527.

[65] Vd. Platone, *Repubblica* VII 527 b; 529 a («è chiaro a tutti, mi sembra, che l'astronomia costringe l'anima a guardare verso l'alto e la guida dalle cose di qui a quelle lassù»); 529 c-e: «Queste decorazioni che adornano il cielo, proprio perché ricamate nell'ambito visi-

bile, vanno considerate le più belle e le più esatte fra le cose di tale ambito, ma anche di gran lunga carenti rispetto a quelle vere [...] Bisogna dunque servirsi degli ornamenti del cielo come di modelli in funzione dell'apprendimento di quelle realtà, proprio come se ci si imbattesse in disegni eccezionalmente ben tracciati ed elaborati da Dedalo o da qualche altro artista o pittore. Vedendoli, un esperto di geometria penserebbe trattarsi di opere dalla bellissima esecuzione, ma anche che sarebbe ridicolo studiarli seriamente come se si potesse cogliere in essi la verità circa gli uguali, i doppi o qualsiasi altro rapporto». Questo passo, un elogio (vd. 528 e), può riassumere efficacemente il punto di vista di Platone; nel contesto, è significativo l'accenno a Dedalo, il primo artefice che potremmo definire 'meccanico', famoso per le sue statue semoventi o che tali sembravano (cfr. *Menone* 97 d-e; *Eutifrone* 11 b; *Ippia maggiore* 281 d- 282 a; Diodoro Siculo, *Biblioteca* IV 76, 1-3).

La tradizionale immagine dell'astronomo che 'guarda in alto' è rappresentata emblematicamente da Talete che cadde in un pozzo, mentre osservava le stelle e guardava in alto, e fu deriso da un'intelligente e graziosa serva tracia per non aver badato alle cose che aveva di fronte, tra i piedi, perso nella contemplazione delle cose celesti (vd. Platone, *Teeteto* 174 a; cfr. *Repubblica* VII 529 a-c): immagine divenuta ben presto un *topos* del sapiente distratto e incapace di far fronte alla realtà; cfr. Esopo, *Favole* 40 Hausrath; Aristofane, *Nuvole* 171-173; Plutarco, *Vita di Marcello* 19, 8-11 (308 e-309 a). Hans Blumenberg (1988) ha indagato il significato e le ramificazioni di questo *topos*.

[66] Vd. per es. *Fisica* IV 8, 215 a 24- b 12; VII 5, 249 b 27-250 a 19; *Cielo* I 6, 273 a 27-b 29.

Si è più volte messo in evidenza il significativo tentativo, perseguito anche nella *Meccanica*, di basare la spiegazione di fenomeni e dispositivi disparati su principi semplici, su una singola analisi di carattere matematico; vd. per es. Berryman 2009, p. 110 s.

[67] Cfr. *Fisica* II 2, 194 a 9-12: «la geometria indaga sulle linee fisiche, ma non in quanto fisiche; l'ottica, invece, fa oggetto di indagine le linee matematiche, ma non in quanto matematiche, bensì in quanto fisiche». Questa affermazione si adatta bene all'impostazione che avrà l'*Ottica* di Euclide, ma può essere messa in rapporto anche con la trattazione della *Meccanica*.

[68] Questo esordio che sfiora tematiche di grande interesse (il rapporto tra *physis* e *techne*; il concetto di 'macchina'; il collegamento della meccanica con le speculazioni matematiche e della scienza naturale) sarà ricordato da Salviati a Simplicio all'inizio della Giornata Quarta del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*; vd. ed. di Favaro, vol. VII, p. 447: «Voi discorrete molto prudentemente, e conforme anco alla dottrina d'Aristotile, che sapete come nel princi-

pio delle sue Quistioni Meccaniche attribuisce a miracolo le cose delle quali le cagioni sono occulte». Nelle battute che seguono ricorrono spesso i termini ‘miracolo’, ‘miracoloso’, ‘miracolosamente’.

[69] Nella traduzione di Leonico Tomeo, inserita nelle raccolte di opere aristoteliche in latino, le *Quaestiones mechanicae* sono divise in tre parti: un’introduzione alla quale si dà il titolo *Quae sit artis Mechanicae facultas*; l’esposizione dei principi che fondano la scienza meccanica ha il titolo *De dignitatibus, admirandisque Circuli proprietatibus* (847 a 28-849 b 21); seguono le *Quaestiones* (vd. ed. Venetiis 1560).

[70] L’assunto dei cerchi concentrici diseguali è anche in studiosi di meccanica posteriori, vd. Micheli 1995, pp. 86 ss.; 109 s.; 116 s. L’autore sottolinea che il principio del cerchio nella *Meccanica* «è completamente diverso da quello archimedeo che si riscontra in Filone ed Erone» (p. 116), e diverso anche da quello applicato nel libro decimo dell’*Architettura* di Vitruvio (p. 96). Confrontando i problemi simili trattati nella *Meccanica* aristotelica e nella *Meccanica* di Erone, Micheli mette in evidenza che in Erone «le singole soluzioni sono più articolate e più varie», mentre nel nostro trattato, gli stessi problemi «sono trasposizioni schematiche del principio generale della maggior velocità dei punti del raggio maggiore dei due cerchi concentrici» (p. 117). «L’analogia tra gli argomenti e le spiegazioni si può peraltro spiegare pensando che sia le *Questioni meccaniche* sia i testi successivi abbiano in vario modo attinto da raccolte di problemi meccanici, probabilmente già diffuse [...] in età prearistotelica, e ancor più in seguito. Tali domande e risposte, tramandate nelle forme e nei modi più tradizionali, dovevano costituire un esercizio comune nelle scuole e potevano essere variamente utilizzate nei trattati tecnici posteriori o, come nel caso delle *Questioni meccaniche*, potevano costituire materiali per una elaborazione filosofica del moto contro natura, secondo l’orientamento della scuola aristotelica. Entro questo contesto tradizionale va situato anche il principio del cerchio, probabilmente di origine antica (sorge naturalmente dalla considerazione della leva in movimento) e utilizzato in modi diversi come principio unificante e fondante di tutte le macchine, sia dalla scuola aristotelica sia da Archimede e dai suoi continuatori. Poiché di meccanica si occupavano prevalentemente matematici e autori di manuali pratici, la scarsa eco delle *Questioni meccaniche* è probabilmente dovuta al suo carattere eminentemente filosofico e alla sua mancanza di preoccupazioni di carattere pratico» (p. 118).

[71] Nel quadro dell’evoluzione delle scienze fisiche è stata attribuita alla *Meccanica* l’origine di questo principio basilare della meccanica; cfr. Longo 2003, p. 71; Gatto 2002, p. CXII ss.

Erone ritiene che le macchine semplici siano da ricondurre alla bilancia più che al cerchio, vd. *Meccanica* II 20.

[72] Vd. 849 b 32 s., e il commento relativo alla controversa questione della maggiore precisione delle bilance grandi, 848 b 1-850 a 2.

[73] Nella *Meccanica* sono descritte quattro delle cinque macchine ‘semplici’ (pur se non sono evidenziate come tali, né così definite), il cui funzionamento è riconducibile a un unico principio, elencate più tardi da Erone: manca la vite (vd. Erone, *Meccanica* II 1). Particolare rilievo ha, nella *Meccanica*, la leva (vista come bilancia asimmetrica), che rappresenta il dispositivo più semplice per risolvere uno dei problemi cui sono legate la pratica e la teoria della meccanica: lo spostamento e il sollevamento dei pesi. Alla leva vengono infatti ricondotti tutti gli altri. Si ricorda che in questo trattato manca la nozione di centro di gravità, basilare invece in Archimede, e ovviamente in seguito.

Queste macchine (e il piano inclinato) saranno tradizionalmente considerate nella meccanica, vd. le *Mecaniche* di Galileo. Sull’uso delle macchine semplici nel primo Ellenismo, vd. Simms 2005, p. 172 ss.

[74] «La meccanica nel senso peripatetico del termine, la meccanica ristretta, è una teoria del “guadagno meccanico” che ha la sua condizione di possibilità nella teoria del moto aristotelica e, paradossalmente, nell’idea di uniformità, di costanza e di equilibrio della natura che la fisica aristotelica aveva proposto. In un certo senso si tratta di combattere una parte di Aristotele con armi tratte da un’altra sua parte: di costruire servendosi delle leggi del moto un’antifisica, una teoria del vantaggio umano, ingegnoso e fondato sul propizio squilibrio, contrapposto alla bilancia sempre ferma e stabile della natura» (Ferrari 1984, p. 252). Archimede fu in grado di progettare macchine, calcolando il vantaggio meccanico. «Il salto di qualità permesso dalla scienza, che si ha in epoca ellenistica, consiste nel fatto che si impara a calcolare teoricamente il “vantaggio meccanico” e si ha quindi, per la prima volta, una “progettazione teorica” di macchine» (Russo 1998, p. 93).

[75] Questi problemi (sul remo, sul timone, sulla posizione della vela, sul pennone) furono oggetto di attenzione specifica tra Cinquecento e Seicento, vd. l’*Annotatio* di Pedro Nuñes (vd. qui la nota 198); i *Frammenti* di Galileo, di data incerta, *Nell’arte navigatoria* (ed. Favaro, vol. VIII, p. 609 ss.).

[76] *Vita di Marcello* 14, 8 (305 d); 17, 5-12 (307 c-f): «Archimede possedette uno spirito così elevato, un’anima così profonda e un patrimonio così grande di cognizioni scientifiche, che non volle lasciare per iscritto nulla su quelle cose, cui pure doveva un nome e la fama di una facoltà comprensiva non umana, ma pressoché divina. Persuaso che l’attività di uno che costruisce delle macchine, come di qualsiasi altra arte che si rivolge a un’utilità immediata, è ignobile e grossolana, rivolse le sue cure più ambiziose soltanto a studi la cui

bellezza ed astrazione non sono contaminate da esigenze di ordine materiale. E i suoi studi non ammettono confronti con nessun altro. In essi è una gara continua tra la materia e le dimostrazioni: la prima fornisce soggetti grandi e nobili, e le seconde risultano di una precisione e di una forza straordinarie. In tutta la geometria non è dato incontrare argomenti più difficili e profondi di quelli affrontati da Archimede, espressi in termini più semplici e puri. Alcuni studiosi attribuiscono questo portento alle doti congenite dell'uomo; altri ritengono che il fatto che ogni suo principio sembri raggiunto senza alcuna fatica e difficoltà, è dovuto alla straordinaria elaborazione con cui lo ricavò. Per quanto uno cerchi, non potrebbe arrivare mai da solo alle dimostrazioni ch'egli dà; eppure, appena le ha apprese da lui, ha la sensazione che sarebbe riuscito egli pure a trovarle, tanto è liscia e rapida la strada per cui conduce a ciò che vuole dimostrare. Non c'è dunque ragione di non credere a quanto si dice di Archimede, e cioè che viveva continuamente incantato da questa, che potremmo chiamare una Sirena a lui familiare e domestica, al punto da scordarsi persino di mangiare e di curare il proprio corpo. Spesso, quando i servitori lo trascinavano a viva forza nel bagno per lavarlo ed ungerlo, egli disegnava sulla cenere della stufa alcune figure geometriche; e appena lo avevano spalmato di olio, tracciava sulle proprie membra delle linee col dito, tanto lo dominava il diletto ed era prigioniero, veramente, delle Muse. Molte e mirabili furono le scoperte ch'egli fece; ma sulla tomba pregò, si dice, gli amici e i parenti di mettergli, dopo morto, un cilindro con dentro una sfera, e quale iscrizione la proporzione dell'eccedenza del solido contenente rispetto al contenuto».

[77] Il trattato sui *Colori*, in particolare, è l'unica opera antica dedicata esclusivamente ai colori e conservata integralmente.

[78] L'opera è stata letta con continuità, e ha esercitato una grande influenza sulle concezioni di pittori e trattatisti dell'età rinascimentale. Nel primo Ottocento attirò l'attenzione anche di Goethe che ne diede una traduzione, inserita nella sezione storica della sua *Farbenlehre*, vd. la mia introduzione ai *Colori*, 2008 pp. 41; 48 ss. e *passim* nelle note di commento.

[79] Vd. la mia introduzione ai *Suoni*, 2008 p. 189 ss. e *passim* nelle note di commento.

[80] Ferrari dà grande rilievo alla nuova accezione di tecnica, che la *Meccanica* inaugura, e all'importanza che in questo senso essa riveste: «La ragione dell'artificialità non è più dunque un assetto esteriore, materiale e formale, ma un principio di funzionamento interno [...] l'artificiale cessa di essere visto essenzialmente come una *struttura*, quindi statica, per divenire invece una combinazione dinamica di moti, di velocità, di forze: è questo l'effetto del trasferimento in terra dei princìpi cosmologici, del "piccolo cielo" meccanico [...] Muta lo

statuto dell'oggetto artificiale: esso diviene ora una figura della geometria piana, in generale un cerchio, cui viene attribuita una consistenza fisica "astratta" in modo tale da poterlo sottoporre alle leggi di moto aristoteliche. In sostanza l'artificiale cessa di essere una cosa e diventa il modo d'uso di una cosa, riconducibile quest'ultimo a uno schema di funzionamento meccanico insieme corporeo e astratto» (1992, p. 170).

Nel proporre un confronto tra la meccanica peripatetica e la pneumatica di Filone, derivanti entrambe da una cultura scientifica e filosofica (per la pneumatica sono fondamentali la teoria del vuoto di Stratone di Lampsaco e gli apparecchi di Ctesibio), Ferrari delinea una differenza: «La meccanica, almeno nel primo periodo della sua vita, [...] non ha bisogno di una apparecchiatura specifica e di fatto non la elabora. È sostanzialmente un modello esplicativo, nel senso preciso che si limita a *spiegare* "comportamenti" o "effetti" che sono sotto gli occhi di tutti. La meccanica non inventa la leva, la bilancia o le macchine semplici, che esistono da tempo immemorabile, ma spiega perché il loro uso è vantaggioso, invita a riflettere e a compiacersi del fatto che in questo modo si scavalca, per così dire, la costrizione della natura. Dei trentadue problemi che costituiscono la seconda parte della *Meccanica* pseudo-aristotelica solo sette riguardano questioni teoriche di cui non c'è un supporto materiale preciso (una sul parallelogramma delle forze, due sui moti rotatori e quattro sull'esaurimento del moto), mentre tutti gli altri spiegano il funzionamento di apparecchi d'uso quotidiano, dalle tenaglie da dentista allo schiaccianoci, o legati alla navigazione (remi, timone, albero), oppure ancora – e sono la maggior parte – connessi al lavoro della pietra e del legno e allo spostamento di carichi elevati, cioè connessi al grande cantiere edilizio. La pneumatica viceversa è sì anch'essa esplicativa, ma non di fenomeni quotidiani, di "effetti" conosciuti da tutti. Se si eccettua la canna per travasare il vino [...] e le piccole ampolle di vetro con cui i medici, dopo aver aspirato l'aria estraevano sangue o liquidi infetti [...] non esistevano apparecchi pneumatici [...] I cultori di pneumatica fecero precisamente questo, progettarono e costruirono i propri apparecchi» (1984, p. 263 s.; cfr. *Id.* 1992, p. 171 s.). Gli apparecchi pneumatici inaugurano una nuova classe di oggetti artificiali, adatti sia allo scopo dimostrativo, sia a suscitare la meraviglia.

[81] Esempi di posizioni opposte sono, da una parte, quella di Bertrand Gille che non si occupa della *Meccanica*, nel suo studio dedicato ai meccanici greci (1980), e quella di Drachmann che non le dedica sufficiente attenzione, definendola «theoretical» (1963, p. 13); dall'altra, Pierre Duhem la colloca lungo una linea continua di sviluppo della meccanica, e la modernizza. Così, nella *Realenzyklopädie* la meccanica è trattata sotto la voce *Physik* (vd. Leisegang 1941): la

fisica è divisa in meccanica, acustica, ottica, termodinamica, elettricità e magnetismo; la meccanica in cinetica e statica (1042-56; principi e contenuto della *Meccanica* sono esposti nella col. 1053 s.). Ferrari (1984, p. 227 ss.) offre un primo panorama degli studi dedicati alla *Meccanica*, da parte di scuole diverse nell'Ottocento e nel Novecento, e sottolinea la scarsa considerazione per la meccanica antica, nel recente passato, determinata dal fatto che essa non ha un equivalente moderno: il campo che era stato della meccanica non esiste più nella scienza moderna, al suo posto vi sono discipline diverse, disposte a livelli diversi. La modernizzazione forzata era un mezzo per congiungere scienza antica e moderna (p. 235 ss.).

Oggi, si assiste a una fervida ripresa degli studi dedicati alla meccanica antica, come documentano numerose pubblicazioni; oltre ad affrontare e ad approfondire aspetti già discussi in passato, si è ampliato il campo d'indagine, nella consapevolezza della funzione determinante che ha avuto la meccanica antica nell'ambito della scienza e della filosofia sia antiche sia moderne.

[82] Vd. per es. *Fisica* IV 8; VII 5; *Cielo* III 2.

[83] Vd. Duhem 1991 (1905), I p. 11 ss.; Tannery 1915; Drabkin 1938, p. 73 s.; Cohen/ Drabkin 1958, p. 189 n. 1; Rose/ Drake 1971, p. 69; Clagett 1981, pp. 22 ss.; 27 ss.; De Gandt 1982, p. 126 s.; Krafft 1990, p. 65 ss.; 75 ss.; Russo 1998, p. 44 ss.; Gatto 2002, pp. IX s.; XVI s.; CVII s. Questo aspetto è stato discusso in particolare all'inizio del Novecento; Paul Tannery formula due ipotesi per spiegare «la juxtaposition» dei due punti di vista, statico e dinamico: confusione di nozioni «que nous sommes habitués à considérer comme bien distincts», oppure utilizzazione di due scritti diversamente impostati. Ritenendo più probabile la prima, precisa che, se la *Meccanica* appare un'opera di compilazione, la raccolta, «sans ordre et sans méthode», può derivare da discussioni orali (1915, p. 32 s.).

Wallace si domanda se i Gesuiti del Collegio Romano ritenessero «che i problemi connessi al movimento (ora diremmo problemi dinamici) fossero risolubili usando lo stesso insieme di princìpi dei problemi connessi alla quiete (cioè, problemi statici), e perciò potessero essere trattati entro la medesima scienza [...] come aristotelici progressisti, essi vedevano la *Fisica* e le *Quaestiones mechanicae* come opere in essenziale continuità, e perciò essi possono avere stimolato, o perlomeno confortato, l'adesione di Galileo per tutta la vita ad un programma, volto a combinare sia il punto di vista statico che quello dinamico per la soluzione dei problemi, il quale alla fine diede origine alla sua *nuova scienza* del movimento locale» (1983, p. 395 s.). Vd. anche Beltrán Marí 2008, p. 18 ss.

[84] Una accorta valutazione degli aspetti connessi con questa questione, e con la sua discussione fino al XVII secolo, è offerta da Micheli 1995, p. 118 s.; 159 ss.

[85] Vd. Ferrari 1984, p. 235.

[86] Vd. per es. *Meteorologia* II 4, 359 b 29 ss.; IV 2, 379 b 14 ss.; 3, 380 a 16 ss.; b 28 ss.; 381 b 5 s.; *Ricerche s. an*. I 8, 491 b 9 ss.

[87] Se si escludono due brevi trattati di geometria sferica di Autolico di Pitane, vd. Acerbi 2008, p. 15.

[88] Accurati cenni alla matematica pre-euclidea, e alle fonti che ci permettono di ricostruirla, con qualche cautela, si leggono in Acerbi 2008, p. 15 ss. Nell'*Appendice H*, Acerbi propone un elenco di matematici, in successione cronologica, a cominciare da Ippocrate di Chio fino ad Antemio di Tralle (pp. 2629-2646). Una delle figure più discusse, sia per la datazione sia per il contributo allo sviluppo della matematica greca, è Diofanto; l'editore Paul Tannery inserisce fra i *Testimonia veterum* di Diofanto gli epigrammi aritmetici di Metrodoro (*Antologia Palatina* XIV 116-147; vi è compreso il noto epitafio di Diofanto – nr. 126), con i relativi scoli (1974, vol. II, pp. 53-72; cfr. pp. 44-46).

[89] Vd. per es. *Teeteto* 147 c-148 b – Teeteto che dà il nome al dialogo è un matematico; *Menone* 82 b-87 b.

[90] Vd. per es. *Analitici primi* I 24, 41 b 13-22; *Analitici secondi* I 1, 71 a 1-21; 2, 71 b 19-22; 7, 75 a 38-b 20; 9, 75 b 37-76 a 25; 10, 76 a 31-77 a 4; 11, 77 a 26-31; II 11, 94 a 28-34; *Anima* II 2, 413 a 13-20; *Metafisica* Β 2, 996 b 18-21; Δ 12, 1019 b 21-27; Θ 9, 1051 a 24-33; Ι 1, 1052 b 20-1053 a 18; *Meteorologia* III 3, 372 b 33-373 a 19; 5, 375 b 16-377 a 11; *Etica Nicomachea* V 3-5, 1131 a 10-1134 a 16. Un ampio numero di passi matematici in Aristotele è raccolto e commentato da Heath (1998), che continua così una tradizione ben consolidata nel Cinquecento.

[91] Vd. Mugler 1958, pp. 19-21. Si tratta di un'operazione prospettata come compiuta ma perdurante in modo molto categorico nel presente-futuro.

[92] Vd. Vegetti 1983, pp. 154 e 168 ss.; Cambiano 2006, p. 151: in Proclo, Euclide è qualificato come platonico.

[93] 290 b-c. Si è pensato così che la lingua dei geometri riflettesse questo presupposto e accettasse implicitamente la preesistenza degli oggetti matematici. Cfr. *Timeo* 54 b: προῃρήσθω δὴ δύο τρίγωνα.

[94] Nel passo del *Menone*, sopra ricordato (nota 89), «si mima una situazione orale connessa alla geometria», vd. Cambiano 2006, p. 62 ss.: la struttura dell'argomentazione è diversa da quella euclidea, le figure si possono fare e disfare; «nello scritto euclideo, invece, fasi dell'argomentazione e figura sono fissate una volta per tutte, ognuna nella sua struttura compiuta, senz'alcun passo falso o alcuna deviazione», *ibid*. p. 63.

[95] 2006, p. 62; vd. anche *Id*. 1984, p. 143; 1992, p. 93 (Euclide «dicendo non "si descriva" o "si ponga", ma "sia stato descritto" o "risulti posto" […] non ragiona su processi in corso, ma sul risultato

già acquisito di processi, che sono dunque solo strumenti»); Acerbi 2008, p. 271: «La sfumatura risultativa intende probabilmente convogliare l'idea che la costruzione ha materialmente una certa durata e che una volta eseguita i suoi effetti sono validi sino al momento in cui la configurazione viene presa in considerazione per la dimostrazione».

[96] Vd. per es. *Meteorologia* III 3, 372 b 33-373 a 19; 5, 375 b 16-377 a 11; *Moto d. an*. 1, 698 a 21-b 1; 9, 702 b 28-703 a 1; 11, 703 b 29-35; *Locomozione d. an*. 7, 707 b 26 s.; 13, 712 a 1 ss.; *Problemi* XV 5, 911 a 21-33; cfr. *Ricerche s. an*. I 5, 490 a 26-b 6. Il termine *diagramma* vale 'figura' e 'dimostrazione, costruzione geometrica' (vd. la nota 53).

[97] Θ 9, 1051 a 21-31. Acerbi così commenta il passo: «Aristotele sembra proprio sostenere che una dimostrazione è compiuta e diventa manifesta esattamente quando tutte le linee ausiliarie rilevanti in un diagramma siano state tracciate. Come suo solito, Aristotele sfrutta abilmente l'ambiguità di fondo del διάγραμμα: nel passaggio significa di volta in volta la figura data, la figura dopo che la costruzione è stata eseguita, l'intera dimostrazione. Se una forma di conoscenza completa è possibile soltanto quando siano state eseguite, e si trovino di fronte a noi, le costruzioni opportune, Aristotele suggerisce che questa condizione è anche sufficiente, una volta che la mente abbia presenti i teoremi appropriati, e, di conseguenza, che la redazione della dimostrazione vera e propria non sia nient'altro che un'appendice» (2008, p. 273).

Cfr. *Retorica* III 1, 1404 a 8-12 («La cura dello stile occupa necessariamente un qualche minimo spazio in ogni forma di insegnamento, poiché parlare in questo o in quel modo rappresenta una reale differenza in vista dell'esposizione, per quanto non una grande differenza: ma tutti questi elementi rappresentano un'apparenza esteriore e sono rivolti all'ascoltatore; e di conseguenza nessuno insegna la geometria in questo modo» – trad. di M. Dorati, Milano 1996); Plutarco, *Il volto della luna* 17 (930 e) dove si allude alla difficoltà di costruire una figura in presenza di un pubblico («Alcuni sanno anche dare una dimostrazione grafica del fatto che la luna invia alla terra gran parte dei suoi raggi lungo linee tracciate a partire da una curvatura recedente da noi. Ma nel corso dell'esposizione, e per giunta davanti a un pubblico numeroso, non fu possibile allestire il disegno» – trad. di L. Lehnus, Milano 1991).

Per il rapporto tra teoria aristotelica della dimostrazione, pratica dell'insegnamento, e trasmissione di risultati già acquisiti, vd. Barnes 1975, p. 65 ss.

[98] **N** 5, 1092 b 9-13; cfr. Eurito 45, 3, I p. 420 D.-K. dove è accolta, a l. 16, l'integrazione di Christ <ζώιων καὶ> φυτῶν: 'la forma degli animali e delle piante'; 45, 2, I p. 420). Le testimonianze relative a

Eurito non dicono se i sassolini erano collocati sull'intero contorno dell'oggetto disegnato o solo sui punti nodali, strutturali della figura in modo e in quantità tali da consentirne la sicura individuazione: questa seconda interpretazione è giudicata più verosimile da Cambiano (2006, p. 171).

[99] Vd. *Locomozione d. an.* 1, 704 a 9-12; 6, 707 a 16-23; 7, 707 b 5-27; *Moto d. an.* 1, 698 a 16-b 1; 8, 702 a 22-31; *Ricerche s. an.* I 5, 490 a 26-b 6; *Parti d. an.* IV 12, 693 b 7-15; 13, 696 a 11-16. Vd. anche la nota 20.

Nel *Moto degli animali* (1, 698 a 21-b 1), dopo aver richiamato un modello matematico parlando di centro e di punti nelle articolazioni, Aristotele elabora un modello facendo uso di un diagramma (tracciato nel commento di Michele di Efeso, vd. Nussbaum 1985, pp. 24; 282; Lanza 1996, p. 1254). È molto significativo che Aristotele avverta contro un'interpretazione troppo letterale del suo modello geometrico: un punto, dato che non ha estensione, non è divisibile, e il movimento negli oggetti matematici è una finzione: nessuno degli enti matematici si muove. Più avanti ritorna sul possibile fraintendimento, parlando di chi ha attribuito una *dynamis* al punto che non ha *megethos* (cfr. 699 a 20-24; 702 b 30 s.). Per la problematicità di questo passo, anche dal punto di vista testuale, e per la possibile critica alla posizione platonica riguardante gli enti matematici, vd. Nussbaum 1985, p. 282 ss.

Cambiano nota che rispetto ad Aristotele la procedura di Eurito era diversa perché prendeva in considerazione forme statiche, più che figure piane in movimento (2006, p. 172).

[100] Si è sostenuto che forse fu proprio Aristotele a estendere l'uso delle lettere variabili dalla geometria alla logica, vd. Cambiano 2006, p. 65; non si sa invece precisamente quando fu introdotto il loro uso in scritti geometrici.

[101] Vd. Acerbi 2008, p. 266 ss.: le lettere «non sono un semplice artificio che serve a rendere decifrabile la figura, ma al contrario, un ausilio alla sua costituzione e un'astuzia per rendere meno incomprensibile la dimostrazione. Fare una dimostrazione geometrica senza usare le lettere è ben possibile ma risulta un mostro di complicazione e lunghezza [...] Le lettere non hanno una funzione ostensiva: sono invece *nomi* degli oggetti. In linea di principio questi nomi sono arbitrari, ma un qualche riferimento alla concreta situazione geometrica è richiesto da ovvi motivi di trasparenza. Da qui risulta la pratica largamente predominante di denotare con singole lettere entità geometriche di base quali i punti, identificando figure più complesse tramite le combinazioni di lettere denotanti punti notevoli su di esse in grado di determinarle univocamente». Cfr. *ibid.*, p. 215.

[102] Vd. per es. *Analitici primi* I 24, 41 b 13-22; *Analitici secondi* II 11, 94 a 28-35.

[103] L'espressione è di Giuseppe Cambiano (2006, p. 75 ss.; cfr. 69 ss.; Vegetti 1983, p. 159 s.), che la usa in contrapposizione a «geometria assiomatizzata» nell'analizzare la posizione di Platone, partendo dal *Menone* e dalla *Repubblica*. L'autore mette in evidenza la connessione tra la critica di Platone alla geometria assiomatizzata, nei confronti della quale rivendica il primato della dialettica, e la sua critica alla scrittura.

La brachilogia e l'ellissi, che caratterizzano la *Meccanica*, non possono essere confrontante con l'essenzialità e la produzione del significato tramite ellissi che caratterizzano lo stile dei trattati matematici, in quanto hanno sia un'origine sia un andamento diversi. La *Meccanica* non è inoltre un manuale, o non lo è come gli *Elementi* di Euclide o, più tardi, l'*Almagesto* di Tolemeo.

Acerbi (2008, p. 213 ss.) propone una esauriente presentazione delle peculiarità dello stile euclideo, mettendo in evidenza lo sforzo fondazionale da cui molte di esse derivano (anche ciò che è evidente e ovvio necessita di dimostrazione), e in genere la forza argomentativa della matematica greca antica, consistente nel sottile equilibrio tra detto e non detto, e nel trattare esaurientemente un singolo tema di ricerca. Le dimostrazioni seguono uno schema preciso e le conclusioni sono tratte anche dalla sola catena argomentativa: il linguaggio è formale e generativo. Diagrammi e lettere rappresentano e denotano enti matematici.

[104] Commentando il passo dei *Topici* I 1, 101 a 5-17, Heath mette in rilievo l'uso speciale del verbo *graphein* «which not infrequently means to *prove* and not merely to *draw*, just as διάγραμμα often means, not merely a diagram, but a proposition or theorem» (1998, p. 76).

In riferimento al diagramma, composto da una sfera e da un cilindro, che Archimede aveva scelto come proprio emblema, Reviel Netz afferma, con un'efficace sinteticità: «la scienza moderna è una scienza di equazioni; la scienza antica è una scienza di diagrammi» (2008, p. 131 s.; cfr. 143 ss.).

[105] Vd. Cambiano 2006, p. 61. L'autore rinvia a Erodoto V 49, 1 (cfr. IV 36, 2); Platone, *Amanti* 132 a-b. Galeno ci testimonia che Policleto chiamò con lo stesso nome, *Canone*, il suo scritto e la statua, che ne esemplificava il contenuto, tentando di correlarli (40 A 3, I p. 391 D.-K.).

Sembra che Aristotele abbia inaugurato l'uso di disegni anatomici come supporto per le proprie lezioni di biologia.

[106] Vd. la discussione su questa equivalenza in Micheli 1995, p. 26 ss.

[107] Vd. la nota 4 nel commento al testo.

[108] Krafft (1990, p. 71) si sofferma sui motivi per cui la meccanica non potè essere una scienza della natura, considerando l'opposizione

di *physis* e *techne*, la reazione contro la sofistica, e la connotazione di *mechane/ mechanemata* come inganno, e portando l'esempio di Erodoto, delle commedie di Aristofane, del *Filottete* e dell'*Antigone* di Sofocle, delle tragedie di Euripide (p. 72 ss.). Sottolinea anche, in una sezione del suo studio dal titolo «Come la 'fisica' diventò fisica» (p. 85 ss.), che il superamento del dualismo tra eventi 'celesti' e eventi 'terrestri' costituì un importante presupposto per l'estensione della descrizione matematica (p. 90). Lo studio di Berryman imposta il problema in maniera più articolata, nella convinzione della necessità di una nuova e più attenta valutazione (2009; vd. in particolare p. 219, riguardo alla posizione di Krafft).

Il prologo della *Meccanica* toglie in realtà alla *techne* ogni ambivalenza (la *techne* può anche avere effetti contrari a quelli che ci si aspetta) e alla *mechane* ogni connotazione negativa. D'altra parte la fisica in senso moderno con corrisponde alla *physike*, che è un'indagine intorno alla *physis*, e comprende l'intero ambito degli studi naturalistici, biologia e psicologia, in quanto studio delle funzioni vitali. La 'fisica' di cui si occupavano gli antichi era carica di valenze cosmologiche, filosofiche ed etiche.

[109] Vd. la nota 83, e gli studi di Schneider (1989; 1992; 2007).

[110] Vd. *Fisica* II 1; *Metafisica* Δ 4; cfr. Lloyd 1993, p. 719 ss.; 2004, p. 15 ss.; Heinemann 2005, p. 16 ss.

Dal punto di vista antico, ciò che è 'contro natura' è genericamente ciò che non accade secondo una regolarità attesa (la regolarità è un discrimine anche per l'autore della *Meccanica*): in un certo senso rappresenta l'eccezione; l'eccezione non è però 'soprannaturale', non si situa di necessità al di fuori del dominio della natura. In Aristotele, la natura è indagabile attraverso la ricerca delle cause, e il naturale è identificabile con ciò che è vero sempre o per lo più; il collegamento tra natura e regolarità, tra natura e *ananke* è analizzato e valutato (vd. *Fisica* II 9; «Ciò che è di necessità, sta nelle cose naturali sulla base di una ipotesi o in senso assoluto?», *ibid*. 199 b 34 s.; cfr. 5, 196 b 10-13): il concetto di natura viene svincolato da ogni meccanicismo.

L'idea di normatività e regolarità è già nella tecnica omerica; esiste tuttavia un retaggio tradizionale di opposizione tra l'artificiale e il naturale (particolarmente avvertito per esempio nell'idea di città come oggetto da progettare e da costruire, o come entità reale, vd. Aristofane, *Uccelli* 992-1020; Platone, *Crizia* 111 e ss.; Aristotele, *Politica* II 8, 1267 b 22 ss.; Vitruvio, *Architettura* II prefazione 2-4).

[111] *Fisica* II 1, 192 b 8-23; cfr. I 1, 184 a 14-16; II 1, 193 a 12-17 («Antifonte afferma che, se si interra un letto e il legno putrefatto ha la forza di produrre un germoglio, non si genererà un letto, ma del legno, sicché ciò che viene elaborato secondo una norma e una tecnica è attribuito in modo accidentale, mentre invece la sostanza è quel-

l'altra cosa che rimane immutata mentre subisce queste affezioni in modo continuo»); III 1, 200 b 12-15: «Poiché la natura è principio di movimento e di cambiamento – ἀρχὴ κινήσεως καὶ μεταβολῆς, e la nostra ricerca ha per oggetto la natura, non dobbiamo ignorare che cos'è il movimento. Se ignoriamo questo, infatti, anche la natura rimarrà per noi necessariamente sconosciuta» (*ignorato motu, ignoratur natura*!); VIII 3, 253 b 5 s.; *Metafisica* Δ 4, 1014 b 16-1015 a 19; *Protreptico* frr. 11-14 Düring (vd. Berti 2000, pp. 9 ss.; 72 ss.). Diversa, come noto, è la posizione di Platone, quale è espressa nel *Timeo*; vd. anche *Leggi* X 888 e ss.

[112] *Fisica* III 1, 201 a 16-19; a 29-34; b 7-13. Ai cacciatori e ai pastori, così come agli allevatori, ai pescatori, agli agricoltori, Aristotele accorda un'esperienza e conoscenze di cui la ricerca scientifica deve tenere conto, e per la quale esse costituiscono delle fonti tecniche: accogliendo le loro conoscenze, e anche la loro nomenclatura, Aristotele amplia non solo il materiale di osservazione e di studio, arricchendo di dati l'indagine zoologica, ma anche il numero delle *technai* riconosciute come tali, in aggiunta a quelle tradizionalmente accettate, cioè la retorica, la medicina, l'architettura e la matematica. Vd. per es. *Ricerche s. an*. III 20, 522 a 29-32; *Problemi* XII 3, 906 b 8-11; XXXII 5, 960 b 21-34; *Fisiognomica* 805 a 14-17; 809 b 2 s. Così anche all' 'arte' della levatrice (*maia*) sono riconosciute un'esperienza e una competenza che possono essere determinanti talora per la vita del neonato: anche il suo lavoro necessita di attenta e mirata riflessione (*dianoia*) da parte di chi lo pratica, vd. *Ricerche s. an*. VII 10, 587 a 9-13; 21-24; 30 s.

[113] Vd. per es. *Fisica* I 7, 191 a 8-12; II 1, 193 a 9-b 21; 2, 194 a 12 s.; a 21-194 b 8 (vd. in particolare 194 b 1-21: «Vi sono due tipi di arte che hanno potere sulla materia e la conoscono: da un lato, le arti che fanno uso delle cose, dall'altro quelle che dispongono della capacità produttiva. Perciò anche l'arte che usa è in un certo modo architettonica. Esse tuttavia si differenziano tra di loro in quanto l'una può conoscere la forma – cioè l'arte architettonica –, mentre l'altra, in quanto produttiva, la materia. In effetti, il timoniere determina quale forma deve avere il timone e la impone, mentre l'artigiano sa di quale tipo di legno deve essere fatto il timone e per mezzo di quali operazioni. Insomma, nelle cose che sono secondo tecnica, noi produciamo il materiale in vista del prodotto finale, mentre nelle cose naturali la materia preesiste»); II 8, 199 a 30-32.

[114] Nella *Metafisica*, Aristotele distingue tra γενέσεις («le generazioni naturali sono quelle delle cose la cui generazione proviene dalla natura») e ποιήσεις: «gli altri processi di generazione si chiamano produzioni. E tutte le produzioni hanno luogo o ad opera di un'arte o ad opera di una facoltà o ad opera del pensiero. Alcune di queste, però, si producono anche spontaneamente e ad opera del caso, come

avviene talora anche nelle generazioni naturali: infatti, anche in natura, certi esseri si generano in egual modo sia dal seme sia senza seme [...]». Si aggiunge poi una considerazione molto importante dal punto di vista della concezione estetica: «Ad opera dell'arte sono prodotte tutte quelle cose la cui forma è presente nel pensiero dell'artefice – ἐν τῇ ψυχῇ. E per forma intendo l'essenza di ciascuna cosa e la sua sostanza prima» (Z 7, 1032 a 15-17; a 26-b 2; cfr. 1032 b 21-25; *Parti d. an*. I 1, 640 a 29-32).

Physis e *techne* si intersecano nello studio del movimento/ mutamento e nello studio dei processi generativi.

I prodotti della *techne* non esistono senza uno specifico e finalizzato intervento su una natura preesistente; gli antichi sono consapevoli che le *technai* hanno una storia: esse sono state scoperte in un tempo remoto, e cambiano nel tempo. Cfr. il *Commento* di Giovanni Filopono alle *Categorie* 7 b 24 s.: viene portato l'esempio degli *heuremata* della meccanica nel discusso problema riguardante il rapporto tra conoscenza e conosciuto; le 'cose artificiali' non esistono prima della loro produzione e del sapere che di esse si ha, diversamente da quanto accade per le 'cose naturali', che esistono prima di essere conosciute (pp. 118, 30 ss.; 119, 1 ss. Busse).

[115] Vd. *Metafisica* Λ 3, 1070 a 6-8; cfr. *Fisica* II 1, 193 a 9 ss. Luigi Ruggiu osserva, nell'introduzione alla *Fisica* (2007, p. XLI s.): «Natura e arte sono cause produttrici, seppure a diverso titolo operanti nell'ambito del divenire. Noi intendiamo in modo analogo il divenire naturale e quello artificiale, come testimoniano le diverse forme linguistiche delle quali facciamo uso. La produzione artificiale sembra costituire il modello di conoscenza della natura. Ma l'arte, che in sé procede in modo conforme ad uno scopo, si limita ad imitare la natura. Dunque, è soprattutto e prioritariamente quest'ultima che rivela in sé la conformità ad uno scopo: e tale dev'essere l'ordine della natura. Pertanto, l'arte ottiene dalla natura che i suoi prodotti siano conformi ad uno scopo, e non viceversa. La tecnica si muove e opera all'interno dell'orizzonte costituito dalla natura. Contro la visione mitico-religiosa che spesso contrappone arte e natura, l'arte diviene per Aristotele complementare alla natura, sia in quanto opera seguendo il procedimento naturale, sia in quanto interviene in modo sussidiario rispetto alla natura. La visione dell'operare della natura secondo il fine rivela anche il senso che il movimento ha per Aristotele: un percorso orientato e diretto verso uno scopo determinato. Lungi dall'essere l'espressione dell'irrazionalità, il divenire manifesta nel suo tendere al raggiungimento dello scopo, la sua intelligibilità. Aristotele sottolinea questo con gli esempi di cui si serve. Tali esempi, tratti dall'attività umana, tecnica e produttiva [...], come la costruzione di una casa o la fabbricazione di una statua, mettono in luce che l'essenziale del movimento è costituito dalla forma che per-

mette all'artigiano di agire e di dare e porre ordine. La forma nella natura è immanente e, come fine, cattura il processo che conduce ad essa, costituendosi come atto, ἐνέργεια, ἐντελέχεια».

[116] Vd. per es. *Fisica* II 8, 199 a 7-14 («Nelle cose che si generano o esistono per natura, è presente l'operare in vista del fine. Inoltre, nelle cose nelle quali esiste un qualche fine, ciò che viene prima è fatto in vista di ciò che viene dopo. Quindi, come avviene nell'agire, così accade in natura; e come avviene in natura, così accade anche in ogni azione, se niente lo impedisce. Ora l'agire è in vista di un fine; allora, anche il fine è per natura. Ad esempio, se una casa fosse fra le cose che sono per natura, essa verrebbe prodotta allo stesso modo in cui ora è costruita per mezzo della tecnica. E se le cose che sono da natura, fossero fatte non solo da natura, ma anche fossero prodotte con la tecnica, sarebbero prodotte in quello stesso modo nel quale esse sono prodotte per natura»); 199 a 33-b 4 («Vi sono degli errori anche nelle cose che sono prodotte dall'arte; così, ad esempio, il grammatico non ha scritto correttamente, e il medico ha somministrato male la medicina. È perciò evidente che la stessa cosa è possibile anche nelle cose che sono secondo natura. Se dunque nelle cose che sono secondo tecnica, ciò che è fatto correttamente, è fatto in vista del fine; e nelle cose che presentano degli errori, anch'esse sono state fatte in vista del fine, ma lo hanno mancato; allora, allo stesso modo avverrà nelle cose naturali, e i mostri sono un errore nel conseguimento del fine»). Cfr. *Parti d. an.* I 1, 640 a 27-33; *Protreptico* fr. 12-13 Düring (vd. Berti 2000, p. 9 s.).

[117] Vd. più avanti le considerazioni sugli *automata*, cui Aristotele attinge come modelli analogici di processi naturali. Gli *automata* sembrano contraddire la tesi che i prodotti della natura non hanno un principio interno.

[118] La tesi secondo cui la *techne* imita la natura non è giustificata, ma assunta come valida, come un *endoxon*, e applicabile in vari ambiti (essa è costitutiva anche della sua concezione estetica), in quanto con *techne* Aristotele non intende soltanto le arti nel significato moderno, ma tutte le attività produttive.

[119] Vd. *Fisica* II 2, 194 a 21 s.; 8, 199 a 15-20: «In generale, talvolta l'arte porta a compimento quanto la natura è impossibilitata a fare, talaltra imita la natura. Se dunque le cose che sono secondo arte sono fatte in vista di un fine, è chiaro che anche le cose che sono secondo natura lo sono. Infatti il rapporto tra ciò che viene dopo e ciò che viene prima opera nello stesso modo in entrambe»; cfr. *Meteorologia* IV 3, 381 b 6; *Protreptico* fr. 13 Düring (vd. Berti 2000, p. 10); *Poetica* 4, 1448 b 4-9; 20-27; *Cosmo* 5, 396 b 11 s.

Il concetto di *physis philotechnos*, quale appare nelle fonti relative a Erasistrato, interpreta in senso più comprensivo il *topos* secondo cui l'arte imita la vita (vd. von Staden 1996, p. 95 s.).

[120] Vd. per es. *Colori* 4, 794 a 16 ss. (la tintura delle stoffe è presa a modello analogico nell'esame dei fenomeni naturali: significativa è la sua collocazione in un punto centrale del trattato, prima di esaminare la formazione del colore nelle piante e negli animali); 5, 795 a 25 s.; b 10-21; *Suoni* 801 a 27-36 e *passim*. Soprattutto nei *Colori*, si constata l'implicita applicazione di un diffuso principio (ὄψις τῶν ἀδήλων τὰ φαινόμενα).

[121] Aristotele, come è noto, insiste sulla finalità della natura, che non fa niente a caso e invano (vd. per es. *Parti d. an.* I 5, 645 a 23 ss.), in risposta al paradigma meccanicistico del suo tempo. Questa idea ha un valore euristico, nel senso che la scienza è una ricerca delle cause e dei principi delle cose. Nella *Meccanica*, si mette in evidenza il finalismo della *techne*, non della natura, oppure si assume il finalismo della natura nella sua regolarità.

Questa caratterizzazione della meccanica, come ciò che va contro la natura per permetterci di sollevare un certo peso con una certa forza, è costante nei testi di meccanica che ci sono pervenuti. Essa riflette una concezione comune; d'altra parte, il testo della *Meccanica*, in cui sono presi in considerazione anche gli oggetti della natura, appare più sottilmente complesso: essi sono esaminati e studiati attraverso gli stessi principi che spiegano il funzionamento degli oggetti artificiali.

[122] Cfr. *Etica Nicomachea* V 10, 1134 b 24-30: «È opinione di alcuni che tutte le prescrizioni del diritto politico sono di quest'ultimo genere, giacché ciò che è per natura è immutabile e ha dovunque la medesima potenza, come il fuoco, il quale brucia sia qui sia tra i Persiani, mentre vedono che le cose che sono per legge sono mutevoli. Questo non è vero in senso assoluto, però è vero in un certo senso. Certo, presso gli dei forse non lo è per niente, ma presso di noi esiste un giusto anche per natura, eppure tutto è mutevole; ma nondimeno c'è qualcosa per natura e qualcosa non per natura». La polemica è diretta ai Sofisti; dal punto di vista aristotelico, la mutevolezza delle cose umane non implica l'inesistenza di una legge naturale e, come conseguenza, la risoluzione di tutto il diritto in quello positivo, vd. il commento di Zanatta 2007, *ad loc.*

[123] Esiste uno stretto collegamento fra *techne* e progresso umano dal punto di vista culturale, e non solo come soddisfacimento delle necessità. Non più dono degli dei, ma conquista umana, la *techne* si configura generalmente come specifica capacità dell'uomo, vd. Senofane fr. 20 G.-P.; Sofocle, *Antigone* 332-375.

Il 'travalicare' la natura non ha nel contesto della *Meccanica* la valenza negativa che in altri contesti hanno gli interventi manipolatori sulla natura, vd. per es. Eschilo, *Persiani* 65 ss.; 722 ss.; Erodoto I 75, 3-6; 174, 3-4; 189, 2-4; VII 22-24; 34-37.

[124] Delineando il rapporto tra *physis* e *techne* e il superamento del-

la loro contrapposizione in Aristotele, Margherita Isnardi Parente si chiede che cosa «per Aristotele continui a contraddistinguere i due fenomeni anche là ove la loro concordia è più esplicitamente sostenuta e affermata [...] tale concordia riposa, è vero, su un'unità di metodologia, un ordine comune: e tuttavia una differenziazione profonda è data, né Aristotele mostra mai di dimenticarlo, nel rapporto del fenomeno *techne* con la volontà cosciente, nel rapporto del fenomeno *physis* con l'eternità cosmica» (1966, p. 159). In Aristotele, anche la riflessione sui procedimenti tecnici si articola attraverso le nozioni di 'fine' e di 'bene'.

[125] Cfr. il trattato ippocratico sull'*Arte*. In alcuni testi medici si insiste sulla connessione della *techne* con la conoscenza delle cause; in genere i trattati ippocratici sembrano giustapporre, piuttosto che opporre, *physis* e *techne*. Che alcune procedure siano artificiali non significa che non debbano essere usate, ma bisogna sapere come servirsene; il medico deve saper impiegare mezzi sia artificiali sia naturali per raggiungere il proprio scopo: quando si può prevalere – ἐπικρατεῖν – con strumenti naturali o artificiali, allora si è *demiourgoi* (*Arte* 8, VI p. 14 L.; cfr. 11, VI p. 18 ss.; 12, VI p. 22 ss.; *Articolazioni* 2-3, IV p. 80 ss.; 42, IV p. 182 s.; 70, IV p. 288 ss.; *Fratture* 13, III p. 460 ss.; 30, III p. 516 ss.; *Regime* I 2, VI p. 468 ss.; II 61, VI p. 574 ss.). Vd. Di Benedetto 1986, p. 268 ss.

[126] *Techne* e *episteme*, 'abilità' e 'conoscenza' sono nozioni cui si dà diverso rilievo nei diversi contesti (nel campo semantico di *techne* possono rientrare le nozioni di *sophia*, *sophos*, *mechane*, *episteme*). Nel corso del V secolo e per gran parte del IV, il termine *episteme* può essere usato come sinonimo di *techne* (vd. Isnardi Parente 1966, p. 1 ss. – l'autrice mette in evidenza tra l'altro che nel Peripato si pongono le premesse di un «policentrismo culturale» che si manifesterà come tendenza a considerare il sapere filosofico racchiuso nella propria scienza, presentata come sapere e cultura totale; Vegetti 1998, p. 197 s.). Per l'uso dei due termini in Aristotele, vd. Bonitz 1961, pp. 279 b 57 ss.; 759 a 21 ss.

Diversamente da più antichi termini come *astronomia*, *geometria*, i nomi delle discipline scientifiche *arithmetike*, *logistike*, *harmonike* presuppongono il termine e la nozione di *techne* (o di *episteme* o di *theoria*); ad essi si aggiungono *mechanike*, *optike* (vd. per es. Aristotele, *Metafisica* **B** 2, 997 b 20; **M** 3, 1078 a 14; a 16). Negli *Analitici secondi* (I 13, 78 b 35-79 a 2), queste figurano come discipline scientifiche (*epistemai*); nella *Meccanica* si riferisce la *mechane* alla *techne* (847 a 18 s.), ma i *problemata mechanika* si collegano agli ambiti della ricerca scientifica.

To chresimon e *to ophelimon* compaiono costantemente come caratteristiche del sapere non sono nei manuali di retorica, di medicina e di tattica, ma anche nei trattati di matematica e di astronomia, e nei

commenti su di essi; vd. per es. Pappo VIII 1, III p. 1022, 1 ss. Hultsch; Proclo, *Commento al I libro degli Elementi di Euclide*, Prologo I, p. 25, 12-15 Friedlein («da quanto si è detto sarà risultata evidente agli studiosi l'utilità dell'intera scienza matematica per la filosofia stessa oltre che per le altre scienze ed arti»); Eutocio, *Commento alla Misura del cerchio di Archimede*, IV p. 142, 23 Mugler.

La meraviglia della macchine non scaturisce da un'alterazione delle leggi naturali; inoltre, un movimento *para physin* è 'connaturato' al cerchio, alla meraviglia per eccellenza. L'applicazione di un'analisi geometrica, ritenuta valida per capire la causa di fenomeni che sembrano paradossali, riduce in ogni caso l'oggetto a una realtà matematicamente intesa. In questo contesto, la *techne* agisce come la natura, diventandone quasi un prolungamento, e si pone come principio di mutamento.

[127] Vd. per es. *Fisica* II 1, 192 b 35 s.; V 6, 230 b 10-21; *Cielo* IV 4, 311 a 15-29: il fuoco e la terra portati come esempio di 'leggero' e 'pesante' in assoluto si dirigono rispettivamente verso l'alto e verso il basso, a meno che non ci sia un impedimento, qualsiasi sia la quantità: nel caso di una quantità maggiore avverrà lo stesso, ma a una maggiore velocità. Nella definizione di pesante e di leggero in senso relativo, si fa invece l'esempio dell'acqua e dell'aria, più leggere della terra, ma più pesanti del fuoco; considerate reciprocamente, l'aria sta 'al di sopra' dell'acqua, e l'acqua, 'al di sotto', sempre indipendentemente dalla quantità. La teoria generale del cambiamento e la definizione stessa di movimento (vd. *Fisica* III 1, 201 a 10 s.: «l'atto di ciò che esiste in potenza, in quanto tale, è movimento»; cfr. 2, 201 b 35-202 a 3; VIII 1, 250 b 11 ss.: vi è contenuta tra l'altro la celebre affermazione per cui il movimento è «una specie di vita – ζωή – per tutte le cose», l. 14 s.; 251 a 9 ss.; 4, 255 b 13 ss.) spiegano la causa per cui i corpi semplici tendono a dirigersi verso il loro luogo naturale.

[128] Vd. *Fisica* IV 8, 215 a 1-4: «Ogni movimento è o per costrizione – βίᾳ – o per natura – κατὰ φύσιν. E se è necessario che esista un movimento forzato – βίαιος, allora esisterà anche quello naturale. Infatti 'forzato' è il movimento contro natura – παρὰ φύσιν, e il movimento forzato viene dopo quello naturale» (cfr. V 6, 230 a 18 ss. in cui si analizzano questi concetti in relazione al moto locale e agli altri 'mutamenti'); VIII 3, 254 a 9 s.; 4, 254 b 7-256 a 3 (tutto ciò che è mosso, è mosso da altro; si distingue tra ciò che è mosso per sé, per altro, per natura e contro natura, tra il movimento degli elementi naturali e quello degli esseri viventi); *Cielo* I 2, 268 b 26-269 a 18; *Etica Nicomachea* III 1, 1109 b 30-1110 b 17: vi si definiscono le nozioni di 'volontario' e 'involontario'; 'involontarie' sono le azioni compiute per costrizione o per ignoranza; 'costretti' sono quegli atti il cui principio è estrinseco al soggetto, e nei quali il soggetto stesso non ha alcun concorso. Questo passo può esssere tenuto presente per com-

prendere il complesso concetto di moto 'violento', anche se ci si riferisce a azioni umane, vd. *Fisica* II 8, 199 a 9-11.

[129] Significativo è in questo senso un passo del trattato sul *Cielo* in cui il nesso *para physin* può essere inteso 'non in accordo con la natura' dei corpi: «il movimento che è contro natura per un corpo è secondo natura per un altro, come accade per il movimento verso l'alto e per quello verso il basso: il movimento che è contro natura per il fuoco è secondo natura per la terra, e viceversa; è necessario, pertanto, che il movimento circolare, contro natura per questi corpi, sia secondo natura per qualche altro corpo» (I 2, 269 a 33-b 2; cfr. 269 a 9-12 – il movimento circolare è considerato 'semplice' in questo trattato; vd. anche il *Commento* di Simplicio *ad* 269 a 32-b 2; 269 b 2-10; 269 a 9-18; pp. 50, 5 ss.; 52, 19 ss.; 19, 9 ss. Heiberg).

[130] Luciano Canfora commenta ampiamente questa citazione da parte dell'autore della *Meccanica*, assunta a «"motto" o precetto introduttivo» della trattazione: «Vi è nelle parole di Antifonte [...] un capovolgimento – forse intenzionale – di ciò che Pericle sostiene nel celebre epitafio: là dove Pericle esalta la "naturale" bravura degli Ateniesi i quali, pur senza il faticoso e diuturno addestramento caratteristico degli Spartani, fanno – in ogni campo compresa la guerra! – più e meglio degli Spartani. [...] Antifonte e i suoi avevano fatto, grazie alla loro abilità, quello che Aristotele – commentando il verso di Antifonte – delinea come risultato tipico della μηχανή: la prevalenza dei meno (e dunque presumibilmente più "deboli") sui più (e dunque presumibilmente più "forti"). La vittoria dei *pochi* sull'apparentemente incontrastabile dominio dei *molti*: nella fattispecie del demo ateniese, signore incontrollato della politica da circa un secolo e da mezzo secolo dominatore di un impero. Essi hanno fatto, e Antifonte prima e più di ogni altro per il ruolo stesso di ideatore e tenace tessitore, quello che Antifonte stesso poetando affermava essere precipuo risultato della *mechané*: superare i limiti cosiddetti "naturali", o – come spiega Aristotele illustrando quel verso –, consentire la vittoria del più debole (= del meno numeroso) [...] sul più forte (cioè più numeroso)» (2005, pp. 64; 61; 63. Vd. anche la nota 11 nel commento al testo).

[131] Delineando a largo raggio la nozione linguistica di *mechane*, Walter Belardi afferma: «Il valore primo [...] dell'archetipo di μηχανή deve essere stato [...] quello di "mezzo potente" e poi, già in epoca antica, di congegno complesso prodotto dall'ingegno e consistente in un potenziamento delle capacità operative degli arti del corpo umano, per mezzo di una protesi del tutto esterna ad esso, al fine di realizzare lavori altrimenti impossibili perché troppo pesanti per un singolo individuo [...] Successivamente, con il raffinarsi della tecnologia, alla connotazione del "potenziamento" deve essersi affiancata quella della "straordinaria ed estrema artificiosità". Questo nuovo

valore si è trovato assai presto inquadrato in una prospettiva ludica. Specie in epoca classica ed ellenistica, infatti, nelle prime esperienze con macchine, la creazione tecnologica era per lo più limitata a meccanismi, ad artefatti, utilizzati oltre che, alcuni, per effettuare lavori davvero pesanti od operazioni belliche, assai spesso, altri, congegnati e messi in atto per il divertimento, e per conseguire spettacolarità e meraviglia [...] Ma il gioco stesso, come pure lo spettacolo, con il suo "deus ex machina" [...] risolutivo di trame umane miseramente insolubili, sono una finzione. Così che la base semantica su cui poggia "macchina" si è estesa dalla finzione fino a comprendere, già nel modo di pensare antico, anche la "macchinazione" e l'inganno, quali strategie ostili e fraudolente del pensiero, ordite a danno di un determinato prossimo, ordite magari anche da potenze oscure e diaboliche» (2005, p. 19 s.). Sull'origine e la formazione del termine, sul suo accento, sul materiale linguistico comparabile, e sulla sua diffusione in lingue e culture del Vicino Oriente, vd. Chantraine 1999, p. 699 s.; Belardi 2005, pp. 23-25; 35-42; 49-51.

Può essere significativo ricordare come venga definito da Omero il cavallo di Troia. A Demodoco, Odisseo rivolge questo invito: «Cambia tema e canta il progetto del cavallo di legno, che Epeo costruì con l'aiuto di Atena: la trappola – δόλον – che poi il chiaro Odisseo portò sull'acropoli, dopo averla riempita degli uomini che annientarono Ilio» (*Odissea* 8, 492-495). I Troiani, di fronte al cavallo che essi accolgono in città, hanno pareri diversi sul da farsi; alcuni pensano che si debba «spaccare il cavo animale di legno col bronzo spietato – κοῖλον δόρυ νηλέϊ χαλκῷ» (8, 507). «Riversatisi giù dal cavallo e lasciato il cavo agguato – κοῖλον λόχον» (8, 515; cfr. 4, 277; 11, 523-525), gli Achei distruggono Troia. Nel prologo delle *Troiane* di Euripide, Poseidone evoca la distruzione di Troia: fu Epeo, focese del Parnaso, a costruire con le *mechanai* – μηχαναῖσι – di Pallade il cavallo gravido di armi (9 ss.). In Quinto di Smirne (*Continuazione di Omero* 12, 138-148) e in Trifiodoro (*Presa di Ilio* 57-105) si darà molto spazio alla descrizione particolareggiata di questo cavallo, costruito con tanta abilità da sembrare vivo (cfr. Virgilio, *Eneide* II 52 s.; 237 s.; VI 515 s.).

[132] Come i convitati alla cena di Trimalcione, nel *Satyricon* di Petronio (60; cfr. 53 s.).

[133] Vd. Belardi 2005, p. 21; cfr. Robinet 2005, p. 521 ss. Sui teatri di macchine del Cinquecento e del Seicento, vd. Galluzzi 2005, p. 260 ss.; Stabile 2005, p. 326 ss. Sulle macchine per la memoria, tra Quattrocento e Cinquento, che quasi si animano della memoria del loro costruttore, vd. Bolzoni, p. 273 ss. L'interesse di queste epoche per gli automi, è testimoniato anche dalla traduzione che Bernardino Baldi fece dell'opera di Erone (*De gli Automati, ouero Machine se mouenti*).

Proprio in relazione all'interesse per gli *Automata* e gli *Pneumatica* di Erone, Stabile commenta: «È ovvio a questo punto evocare il teatro delle marionette o il giardino degli automi de *L'homme* di Descartes, il quale, ne *Les passions de l'âme*, aveva ricordato come esse fossero meri impulsi corporei agenti meccanicamente attraverso la pressione pneumatica degli spiriti animali. Impulsi automatici e dunque irresistibili a meno che la libera volontà non fosse intervenuta a impedirli. Di qui la ragione per concludere con un semplice cenno a una delle più complicate macchine che hanno agito sulla scena della tragedia e del dramma barocco: la macchina delle passioni» (2005, p. 332).

[134] Vd. Settis 2005, p. 8 s. Talora furono messe in pratica invenzioni e innovazioni tecnologiche, che tuttavia non diventarono di uso generalizzato.

Sulla meccanica a Roma, vd. Franco Repellini 1989; Traina 1994; Gara 1994; Fleury 1993; 1994; 1996; 2002; 2005; Meißner 2005; Cuomo 2007. L'unico trattato di meccanica nel senso proprio del termine è in latino il X libro dell'*Architettura* di Vitruvio. Vitruvio stesso è consapevole del fatto che in questo campo una tradizione in latino è molto ridotta rispetto a quella greca; nella prefazione (14) al settimo libro della sua opera, dopo aver elencato autori di trattati sulle proporzioni simmetriche, e sulla scienza delle macchine («Diade, Archita, Archimede, Ctesibio, Ninfodoro, Filone di Bisanzio, Difilo, Democle, Carias, Polyidos, Pirro, Agesistrato»), aggiunge: «dalle pubblicazioni di costoro ho raccolto e disposto organicamente in sistema le nozioni che, come notai, potevano essere utili agli argomenti da me trattati, e ciò soprattutto perché mi ero reso conto che in questo campo i Greci hanno pubblicato parecchi libri, i nostri ben pochi». Altri trattati specialistici in latino sono quelli di meccanica agricola (Catone, Varrone, Columella, Palladio) e militare (Vegezio); informazioni sulla meccanica vengono anche da opere storiche (Cesare, Ammiano Marcellino). Vd. anche Lucrezio IV 905 s.; Virgilio, *Georgiche* 1, 169-175; Plinio, *Storia naturale* XVIII 296. In genere, menzioni sparse sulle macchine di vario tipo si trovano in tutta la letteratura latina da Plauto a Isidoro di Siviglia, vd. Fleury 1996, p. 53.

[135] Nel caso della meccanica, possiamo disporre sia di trattati specifici, sia di allusioni a macchine e congegni, o anche di descrizioni, in testi letterari, oppure della loro rappresentazione nelle arti figurative, o anche a testimonianze archeologiche: famosi sono i ritrovamenti del congegno di *Antikythera* e delle navi di Nemi, per esempio.

[136] Vd. *Iliade* 8, 177; 11, 695. Più frequente l'uso nell'*Odissea*, vd. 3, 207; 213; 16, 93; 134; 17, 499 e 588; 18, 143; 20, 170; 370, 394; 21, 375; 22, 432. Il verbo μηχανᾶσθαι è un denominativo; la sua diatesi attiva è rara, cfr. *Odissea* 18, 143; Sofocle, *Aiace* 1037. Cfr. l'uso di κακομήχανος in *Iliade* 6, 344; 9, 257; *Odissea* 16, 418; di ἀμηχανίη e

di ἀμήχανος in *Odissea* 9, 295; 19, 363. Nell'*Odissea* ricorre anche il verbo περιμηχανᾶσθαι, vd. *Odissea* 7, 200 (riferito all'azione degli dei, e ai loro superiori disegni); 14, 340.

Per il latino *machina*, vd. Krömer 2005, in particolare p. 76 ss.; il termine è attestato, nel teatro di Plauto, col significato di 'espediente ingegnoso', vd. per es. *Il soldato fanfarone* 138; *Pseudolo* 550.

[137] Vd. *Iliade* 2, 342 s.; 9, 249; *Odissea* 12, 392 s.; 14, 238. Accanto a μηχανή esistono due antiche parole di uso limitato e che non hanno dato composti o derivati: μῆχαρ (che non prende mai il senso negativo o tecnico di μηχανή) e μῆχος. Vd. per es. Eschilo, *Prometeo* 606; *Supplici* 394; Erodoto II 181, 4; cfr. Chantraine 1999, p. 700.

[138] Vd. *Iliade* 2, 173; 4, 358; 8, 93; 9, 308; 10, 144; 23, 723; *Odissea* 5, 203; 10, 401; 456; 488; 504; 11, 60; 92; 405; 473; 617; 13, 375; 14, 486; 16, 167; 22, 164; 24, 192; 542; *Iliade* 1, 311; *Odissea* 21, 274; cfr. l'uso di *poikilometes* (*Iliade* 11, 482; *Odissea* 3, 163; 13, 293), e di *polytropos* (*Odissea* 1, 1; 10, 330) il cui significato, 'multiforme, dai molti espedienti, ingegnoso' oppure 'che ha molto/ a lungo viaggiato/ errato', era discusso già nell'antichità; cfr. Platone, *Ippia minore* 364 c; 364 e.

[139] Vd. nell'*Iliade* il passo in cui Nestore dà consigli ad Antiloco (23, 306-348): «Antiloco, t'hanno preso ad amare, anche se giovane, Posidone e Zeus, e tutta l'arte equestre t'hanno insegnato; non c'è dunque troppo bisogno di darti consigli: tu sai bene svoltare intorno alla meta; ma sono assai lenti i tuoi cavalli alla corsa; temo quindi che saranno guai. I cavalli degli altri sono più lesti, ma loro non sanno escogitare più astuzie – μητίσασθαι – di quanto tu sappia. Su dunque, caro, concepisci nella tua mente ogni sorta d'astuzia – μῆτιν ... παντοίην, che il premio non abbia a sfuggirti. Il taglialegna è più bravo con l'astuzia che con la forza; con l'astuzia il nocchiero in mezzo al mare spumoso dirige la rapida nave, per quanto battuta dai venti; così con l'astuzia il cocchiere è superiore al cocchiere. Chi fidando invece nei cavalli e nel carro fa il giro largo, senza criterio, da una parte e dall'altra, gli sbandano in corsa i cavalli e non li governa; mentre chi sa le regole, anche se porta cavalli peggiori, con l'occhio sempre alla meta, fa il giro stretto, e non gli sfugge come lanciarli subito dopo, allentando le briglie di cuoio, ma li guida con sicurezza e studia chi lo precede. La meta voglio descriverti con precisione, che non ti sfugga! [...] con tutto il tuo ingegno, sta' bene in guardia. Se rasente alla meta riuscirai a passare di corsa, inseguendo non c'è chi possa raggiungerti o sorpassarti, nememno se dietro di te sferzasse il divino Arione, il cavallo veloce di Adrasto, che era di stirpe divina, o i cavalli di Laomedonte, che crebbero qui vigorosi!». La *metis* è «una forma particolare d'intelligenza, un'accorta prudenza»; essa opera a vari livelli, «ma l'accento è sempre posto sull'efficacia pratica, sulla ricerca del successo nel campo dell'azione: molteplici abilità

utili alla vita, perizia dell'artigiano nel suo mestiere, artifici magici, uso di filtri e di erbe, stratagemmi di guerra, inganni, finzioni, astuzie di ogni genere», Detienne/ Vernant 1999, p. 3. La valutazione dell'azione che ne consegue può essere positiva o negativa a seconda del contesto: il successo procurato dalla *metis* ha un significato ambiguo e può suscitare reazioni contrarie.

[140] *Teogonia* 146: ἰσχὺς δ' ἠδὲ βίη καὶ μηχαναὶ ἦσαν ἐπ' ἔργοις («e vigore e forza e destrezza era in ogni loro opera»). Si sta parlando della discendenza di Gaia e di Urano, e della generazione dei Ciclopi, simili agli dei, ma con un solo occhio. Arrighetti (1998, *ad loc.*) così interpreta: «L'attribuzione di μηχαναί, cioè di abilità particolari, serve a chiarire il fatto che i Ciclopi sono divinità artigiane, nel caso specifico coloro che forniscono a Zeus le armi del tuono, del fulmine (cfr. v. 141) e del baleno (cfr. vv. 504-505)».

[141] Vd. fr. 24, 10 West².

[142] Vd. fr. 7, 94 West²: l'intera categoria delle donne è un male voluto «per disegno di Zeus», μηχανῇ Διός.

[143] Vd. fr. 249, 10 L.-P.

[144] Vd. *Nemea* 7, 22; *Pitica* 1, 41; 3, 62 e 109; 8, 34 («Quello che innanzi ai piedi ora mi viene, il debito verso di te, mio ragazzo, l'ultima delle tue belle imprese, prenda il volo mercé la mia arte – μαχανᾷ – vv. 32-34, traduzione di Bruno Gentili, Milano 1998²); 75.

[145] *Persiani* 109-114 (v. 114: λαοπόροις ... μηχαναῖς, cfr. 722: «Con macchine creò un passaggio, aggiogando lo stretto di Elle», μηχαναῖς ἔζευξεν Ἕλλης πορθμὸν ὥστ' ἔχειν πόρον; 743 ss.). Vd. anche *Sette contro Tebe* 130 s.: si invoca Poseidone «equestre nume dominatore del mare con l'arma che i pesci colpisce» (trad. di F. Ferrari, Milano 1995⁴; il traduttore non considera corrotto il v. 131: Page, nella sua edizione, Oxford 1972, inserisce tra *cruces* μαχανᾶι Ποσειδὰν); *Supplici* 956; *Agamennone* 1126-1128: «in un peplo l'ha preso, con la trappola dalle nere corna – μελαγκέρῳ ... μηχανήματι – e lo colpisce» (trad. di E. Medda, Milano 2005[10]); *Coefore* 980-982: «Guardate inoltre, voi che sapete questi mali, l'astuzia che fu catena per mio padre infelice – τὸ μηχάνημα, δεσμὸν ἀθλίῳ πατρί, e i ceppi per le mani e il giogo per i piedi» (trad. di L. Battezzato, Milano 2005[10]). Eschilo usa *mechane* anche per indicare un efficace mezzo di salvezza cui l'uomo può ricorrere, vd. *Sette contro Tebe* 208-210 («Forse che un marinaio ha mai escogitato espediente salvifico –ηὗρε μηχανὴν σωτηρίας – scappando da poppa a prua quando la nave si strema contro il flutto marino?»); 1041 («All'audacia sarà d'aiuto efficace mezzo – μηχανὴ δραστήριος»); *Supplici* 1071 s. («In accordo alle mie preci giustizia tocchi ai miei giusti voti e vie che sciolgono da pena – λυτηρίοις μηχαναῖς – il dio ci accordi»); *Eumenidi* 82; 645 s. («i ceppi si possono sciogliere, c'è rimedio – ἄκος – a questo, e mezzi assai numerosi vi sono di liberazione – μηχανὴ λυτήριος»).

Le conquiste dei mortali sono indicate, nel *Prometeo* (469-471), come *mechanemata* inventati dal protagonista, che pure non sa trovare un *sophisma* per liberare sé stesso.

Nell'*Antigone* (364-366) di Sofocle, il coro delinea la doppia direzione, verso il bene o verso il male, che l'uomo può intrapendere sulla via del progresso intellettuale e tecnico: anche nel momento di maggiore fiducia in questo avanzamento, i Greci espressero la consapevolezza della sua ambiguità.

Vd. anche Euripide, *Medea* 260; *Ione* 1216; 1326; *Oreste* 1421 s.

[146] Vd. II 125, 2-4; per l'accostamento in realtà forzato con lo strumento descritto nel quesito n. 18 della *Meccanica*, vd. Micheli 1995, p. 12. Alan B. Lloyd commenta mettendo in evidenza l'anacronismo: «Le μηχαναί sono gru [...], ma il solo sistema egiziano per sollevare pesi che ci sia noto era la rampa di costruzione [...]. Erodoto, o la sua fonte, ha semplicemente supposto che gli Egiziani costruissero secondo quella che era la pratica *greca* contemporanea. Queste macchine sono descritte come macchine formate da assi di legno corte probabilmente perché Erodoto e gli altri Greci sapevano che gli alberi egiziani non erano molto alti» (Milano 1999[4], p. 345 – la traduzione dal greco è di Augusto Fraschetti; vd. anche Coulton 1974). Cfr. 124, 3 s., dove Erodoto confonde la strada che portava alle piramidi con una rampa di costruzione (*ibid.*, p. 344).

Erodoto usa il termine *mechane* anche nel senso generico di 'mezzo', 'modo' per ottenere un risultato, vd. III 83, 2; il termine è talora associato a *sophisma* (III 152, 1). In un altro passo fa riferimento ad argani di legno (ὄνοι) intorno a cui si avvolgono funi, VII 36, 3.

La celeberrima galleria dell'architetto Eupalino, risalente probabilmente al 540-530 a. C., e altre due sue opere, costituiscono la giustificazione che Erodoto adduce per essersi dilungato sui Sami, che hanno costruito le tre opere più grandi di tutta la Grecia (III 60): evidente è l'apprezzamento per le conquiste tecniche di Eupalino. Cfr. I 185 s.

[147] VI 18; il nesso κατ' ἄκρης ricorda Omero (vd. *Iliade* 13, 772 s.; 15, 557 s.) e accosta la caduta di Mileto alla caduta di Troia.

[148] Vd. per es. Tucidide II 18, 1 (προσβολὰς παρεσκευάζοντο τῷ τείχει ποιησόμενοι μηχαναῖς τε καὶ ἄλλῳ τρόπῳ: la connessione dei termini μηχανή e τρόπος diventa quasi una formula cui Tucidide ricorre spesso); 58, 1; 76, 4 (tra le macchine, egli descrive l'urto rovinoso prodotto da una in particolare); III 51, 3; IV 13, 1; 100; 115; V 7, 5; VI 102, 2; VII 43, 1; VIII 100, 5. Cfr. V 18, 4 (μήτε τέχνῃ μήτε μηχανῇ μηδεμιᾷ); 47, 8; Platone, *Gorgia* 512 b-d.

[149] *Vita di Pericle* 27, 3 (167 a). Plutarco continua riferendo l'opinione di Eraclide Pontico il quale nega che Periforeto si trovasse nel campo ateniese. «Artemone Periforeto, dice, viene nominato nelle poesie di Anacreonte molte generazioni avanti la guerra di Samo e gli

avvenimenti ad essa collegati. Secondo Eraclide, Artemone era un tale, effeminato, debole e timido al punto da vivere, per paura, quasi sempre chiuso in casa, seduto, e con sopra la testa uno scudo, che due servi gli reggevano per evitare che dall'alto gli cadesse addosso qualcosa. Se era costretto a uscire, si faceva trasportare su un letticciuolo sollevato da terra, durante il tragitto, il meno possibile; perciò era chiamato Periforeto» (27, 4, 167 a-b); cfr. Diodoro, *Biblioteca* XII 28, 3.

[150] *Biblioteca* XIV 41, 2-4; 42, 1-2; cfr. 43, 1; 48, 1 e 3; 51, 1 e 7.

[151] Siracusa viene attaccata da Marcello sia da terra sia dal mare. «Appio guidava all'attacco le forze di terra, il console comandava la flotta, forte di sessanta quinquereme attrezzate con ogni sorta di armi da difesa e da offesa. Sopra una grande piattaforma, costituita da otto navi legate insieme, aveva eretto una macchina da lancio e con essa vogava in direzione delle mura, fiducioso nel numero e nello splendore delle attrezzature e nella fama che lo circondava. Ma di tutto ciò non si preoccupò Archimede, come se le armi del nemico nulla contassero a paragone dei suoi meccanismi» (*Vita di Marcello* 14, 5-7, 305 c-d). «Archimede scrisse un giorno al re Ierone, di cui era parente ed amico, che si poteva con una certa forza sollevare un certo peso. Si dice che, preso d'entusiasmo per il vigore della propria dimostrazione, Archimede aggiunse che se fosse esistita un'altra terra, egli avrebbe mosso questa trasferendosi in quella. Ierone trasecolò per la scoperta fatta dall'amico e lo pregò di ridurre in pratica la sua proposizione, mostrandogli qualche grosso oggetto mosso da una piccola forza. Archimede prese un mercantile a tre alberi della flotta reale, che fu tirato in secco con grande fatica e l'impiego di molte persone, v'imbarcò molti uomini e il suo carico abituale, poi si sedette lontano e senza nessuno sforzo, muovendo tranquillamente con una mano un sistema di carrucole, lo fece avvicinare a sé dolcemente e senza sussulti, come se volasse sulle onde del mare» (*ibid.* 14, 12-13, 305 f-306 a). Celebre è il detto attribuito ad Archimede, e più volte riferito da commentatori ed eruditi : δός μοι ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν (così si legge in Pappo, *Collezione* VIII, III p. 1060, 3 s. Hultsch). A questo detto fa esplicito riferimento Michel Varro all'inizio del suo trattato: «Questo problema [muovere con una forza data un dato peso] appare senza dubbio a prima vista meraviglioso, in quanto un peso anche grandissimo può esser tuttavia spostato da forze piccolissime; come se, per esempio, dicessi che le forze di un uomo o persino di un animale ancora più debole possono rimuovere dal suo luogo l'intero globo terrestre. Il che, raccontano, Archimede di Siracusa espresse con queste parole: δός ποῦ στῶ τὰν γὰν κινῶ (datemi un punto d'appoggio e solleverò la terra)» (vd. ed. Camerota/ Helbing 2000, p. 242 s.). La concisa formula *Data vi datum pondus movere* compendia efficacemente il problema centrale della meccanica antica e moderna.

[152] «Per una malaugurata circostanza lo scienziato si trovava in casa e stava considerando una figura geometrica, concentrato su di essa, oltreché con la mente, anche con gli occhi, tanto da non accorgersi che i Romani invadevano e conquistavano la città. Ad un tratto entrò nella stanza un soldato e gli ordinò di andare con lui da Marcello. Archimede rispose che sarebbe andato dopo di aver risolto il problema e messa in ordine la dimostrazione. Il soldato si adirò, sguainò la spada e lo uccise. Altri storici narrano il fatto diversamente. Dicono che il romano si presentò già con la spada in pugno, pronto per ammazzarlo, e che Archimede, appena lo vide, lo pregò di aspettare un istante, affinché non lasciasse incompleto e privo di dimostrazione ciò che cercava» (*Vita di Marcello* 19, 8-10, 308 e-309 a; cfr. 17, 11, 307 e). Plinio ricorda Archimede tra coloro che si sono segnalati nei vari campi della scienza: «Anche Archimede ebbe un grande riconoscimento per le sue cognizioni di geometria e di meccanica, quando, al momento della presa di Siracusa, un'ordinanza di Marco Marcello impose che lui solo non fosse toccato: purtroppo l'ignoranza di un soldato rese vano il divieto» (*Storia naturale* VII 125).

[153] La macchina era «dotata di lungo braccio mobile fissato a una solida base, e posizionata dietro la facciata scenica» e «consentiva di sollevare in aria almeno due attori, che venivano poi depositati nell'orchestra ovvero sul tetto dell'edificio scenico; corde e ganci posti all'estremità del braccio consentivano agli attori di legarsi durante il 'volo' e di sganciarsi non appena fosse stato necessario», Mastromarco 2008, p. 31. La 'macchina del volo' era manovrata da un *mechanopoios*, da un macchinista, cui l'attore fa diretto riferimento nella *Pace* di Aristofane, rompendo l'illusione scenica (vv. 173-176).

[154] Vd. Polluce, *Onomastico* IV 130; cfr. 127 ss. Tra le altre macchine utilizzate, ci sono il *bronteion* (macchina del tuono), il *keraunoscopeion* (congegno per produrre fulmini), l'*ekkyklema* (controversa è la presenza nel teatro di Dioniso di questa macchina: «si tratterebbe di una piattaforma che, ruotando intorno alla porta centrale della facciata scenica, rendeva visibile agli spettatori una scena che il drammaturgo immaginava svolgersi all'*interno* dell'edificio», Mastromarco 2008, p. 32), e le *periaktoi* (macchine girevoli, in uso come sembra a partire dal IV sec.). Altri espedienti, non macchine vere e proprie, erano le cosiddette 'scale di Caronte' per esempio: da una scala nascosta sotto il palcoscenico, si facevano comparire personaggi che venivano dall'Ade.

[155] Vd. *Cratilo* 425 d; cfr. *Clitofonte* 407 a: Socrate che declama viene paragonato a un dio su una macchina tragica – ὥσπερ ἐπὶ μηχανῆς τραγικῆς θεός. L'espressione *deus ex machina*, oggi corrente per indicare una salvezza inaspettata e quasi miracolosa, o un finale artisticamente non preparato, deriva dalla traduzione di questo passo

di Platone, da parte di Marsilio Ficino (*veluti e machina tragica deus*), vd. Tosi 1991, p. 754.

Anche Antifane, autore della commedia 'di mezzo', afferma che i tragediografi, quando non riescono a dire più nulla, e sono del tutto privi di ispirazione per il loro dramma, «sollevano la macchina», appagando gli spettatori (*Poesia*, fr. 189, 13-16 K.-A.; cfr. Alessi, *Calderone* fr. 131, 7-9 K.-A.; Demostene 40, *Contro Beoto*, 59).

[156] Vd. *Poetica* 15, 1454 a 33-b 6. Aristotele porta proprio l'esempio della *Medea* di Euripide: nel finale la protagonista appare prodigiosamente, come *dea ex machina*, su un carro che le consente di sfuggire alla vendetta di Giasone e dei Corinzi.

[157] Vd. in particolare *Articolazioni*; *Fratture*; *Moclico* (*Strumenti di riduzione*). Cfr. nota 125; Schneider 1989, p. 222 ss.

Per l'uso di macchine in altri ambiti tecnici rinvio alle trattazioni specifiche sull'argomento, in Forbes (*Studies in ancient technology*).

[158] Robert Bourgne in un articolo dedicato all'uso di *mechane* e di *mechanasthai* in Platone, afferma programmaticamente: «La dénomination de la machine dans la langue grecque au Ve siècle avant notre ère est étrangère à toute conception mécaniste; elle ne retient pas sa fonction instrumentale mais privilégie son aspect prodigieux, son efficience comme magique. C'est à ce titre que les machines entrent dans le champ de désignation couvert par le terme *mechane* et vont constituer, après coup, dans les dictionnaires un des sens de ce mot» (1986, p. 9; cfr. p. 19: «Il est clair que la *mechane* ne peut se penser sur le modèle de l'instrument, *organon*. Nous nous trouvons donc fort loin d'un univers des machines qui figurerait une articulation apparente de l'activité. Bien au contraire, nous sommes dans un univers de messages, de langage»). Se è condivisibile l'opinione secondo cui la nozione antica di macchina è lontana dal meccanicismo che contraddistingue quella moderna, l'esclusione della funzione strumentale non corrisponde alla realtà: l'opinione di Bourgne sembra eccessivamente condizionata dal collegamento tra *mechane* e *metis*, collegamento che guida in ogni caso a una distinzione tra *mechane* e *organon*. Essendo la *metis* una capacità di trovare espedienti, continua Bourgne, Platone vi riflette in collegamento con l'attività dei sofisti, tesi a individuare i mezzi più idonei alla persuasione, e del demiurgo, soprattutto nel *Timeo*: la materia è disordine; così per fabbricare il mondo il demiurgo «doit faire pénétrer l'ordre dans le désordre, structurer une "extension" indéterminée, orienter la cause errante, ployer la nécessité à l'intelligence [...] Platon dit alors dans le language du mythe que l'intelligence doit "persuader" la nécessité. Voilà ce qui doit éclairer cette notion de "persuasion"». Essa non è altro che un «aménagement inventif, un agencement ingénieux» che le occorrenze di *mechanasthai* nel *Timeo* puntualizzano. «La rhétorique démiurgique est un bricolage astucieux» (p. 29).

[159] *Cratilo* 415 a: "μηχανὴ " γάρ μοι δοκεῖ τοῦ ἄνειν ἐπὶ πολὺ σημεῖον εἶναι· τὸ γὰρ "μῆκός" πως τὸ πολὺ σημαίνει· ἐξ ἀμφοῖν οὖν τούτοιν σύγκειται, "μήκους" τε καὶ τοῦ "ἄνειν", τὸ ὄνομα ἡ "μηχανή".

I procedimenti e criteri etimologici antichi hanno avuto una duratura influenza sugli studi moderni, vd. Ferrini 1986; 1990.

[160] Vd. Cuomo 2007, p. 13 s.; una delle rare occorrenze di *techne* nelle iscrizioni è nella formula 'qualcuno' (una comunità alleata o soggetta a Atene) non danneggerà 'qualcun altro' (di solito Atene) con parole, azioni, *techne* o *mechane*. Vd. anche la nota 148.

[161] Ai trattati antichi di meccanica di carattere teorico, sembra che sia stato dato il titolo di *Mechanika*. Il termine 'meccanica' dopo la *Meccanica* del *C. A.* acquista nella tradizione greca un senso proprio e ristretto, quello di teoria della leva: nel III sec. il valore antico e originario di *mechane* «è stato soverchiato dai suoi derivati e in particolare da μηχανική, meccanica. Grazie all'opera pseudo-aristotelica "meccanica" vale meccanica teorica», che Ferrari chiama «meccanica ristretta» (1984, pp. 249 e 282). Nei trattati, l'uso di *mechane/ machina* tende a perdere il significato di espediente ingegnoso per essere impiegato in un'accezione più razionalistica (la macchina è definita da Vitruvio come «un insieme strutturato di elementi di legno, che ha assai grande efficacia per spostare carichi», *Architettura* X 1, 1); vi rimane tuttavia connessa la meraviglia.

Anche nel Cinquecento, vennero denominati *mechanica* i trattati concernenti la spiegazione teorica del funzionamento delle macchine semplici, vd. Camerota/ Helbing 2000, p. 80.

[162] Vd. per es. la testimonianza di Aristotele relativa ad Anassagora: «Anassagora nella costituzione dell'universo si serve dell'Intelligenza come di una *mechane*, e solo quando si trova in difficoltà nel dar ragione della necessità di qualche cosa trae in scena l'Intelligenza; per il resto, invece, come causa delle cose che avvengono pone tutto, tranne che l'Intelligenza» (*Metafisica* A 4, 985 a 18-21= 59 A 47, II p. 19, 29-31 D.-K.).

Anche l'uso del termine *mechanikos* è riferito spesso a un procedimento speciale da seguire per difficoltà altrimenti insuperabili, e implicante la partecipazione dell'intelligenza, del *logos*.

Nel concetto di *mechane* è insita una certa ambiguità, come si è visto, che invece il prologo della *Meccanica* annulla, ponendo l'accento sulla vittoria e sull'utilità. Raggiro e utilità si trovano compendiati nella figura di Dedalo descritta e interpretata da Bacone: «Sotto la figura di Dedalo, uomo di grandissimo ingegno ma di cattivi costumi, gli antichi rappresentarono la scienza e l'industria meccanica, compresi i suoi raggiri illeciti e vòlti a cattivi usi [...] Il resto è un'allegoria manifesta dell'uso delle arti meccaniche, alle quali molto deve la vita umana, che ha tratto tanta parte dei loro tesori per allestire i

templi, per abbellire lo Stato e per accrescere il benessere dell'esistenza in generale. Ma dalla stessa fonte sgorgano strumenti di incontinenza e persino di morte; perché, anche lasciando da parte l'arte dei mezzani, i veleni più potenti, le artiglierie militari, e simili strumenti di distruzione, si devono tutti alle invenzioni della meccanica; e ben sappiamo di quanto esse abbiano superato il Minotauro per la ferocia e il potere distruttivo. L'allegoria più elegante è quella del Labirinto, che indica la natura dell'arte meccanica in generale. Tutte quelle imprese dell'arte meccanica che sono più ingegnose e accorte, per le varie complicazioni e sottigliezze, per l'ovvia somiglianza (che possono venir sorrette e distinte non da un giudizio, ma solo dal filo dell'esperienza), possono essere paragonate a un labirinto. Ben detto è anche che quello stesso che ha inventato le tortuosità del Labirinto, ha mostrato anche l'opportunità di un filo conduttore, perché le arti meccaniche sono di doppio uso, si prestano al male e offrono nello stesso tempo il rimedio, giacché hanno il potere di sciogliere i loro stessi raggiri [...]» (da *Sapienza degli antichi* 19: *Dedalo, o la meccanica*, ed. it. a cura di De Mas 1994, pp. 175-177). Sulla più ampia questione legata all'atteggiamento di Bacone verso le arti meccaniche, si sofferma Rossi: «ritengo [...] che la filosofia di Bacone abbia un significato culturale molto notevole anche perché essa si pone consapevolmente in posizione fortemente polemica contro l'idea di una separazione e opposizione fra tecnica e scienza, lavoro manuale e lavoro intellettuale, arti meccaniche e arti liberali» (1976, p. 150; cfr. Mondolfo 1956, pp. 125-149: *Lavoro manuale e lavoro intellettuale dall'antichità al Rinascimento*).

[163] Vd. in particolare il *Protagora* di Platone (320 c-322 d). Il Prometeo eschileo si vanta di aver trovato μηχανήματα utili agli uomini, ma lamenta di non avere un σόφισμα che gli permetta di uscire dalla sventura (*Prometeo* 436-506; in particolare 469-471). Nel famoso stasimo dell'*Antigone* di Sofocle, il Coro delinea i traguardi significativi raggiunti dall'uomo (332 ss.). Cfr. Democrito 68 B 5, II pp. 135, 32-136, 15; B 172, II p. 179; B 266, II p. 200, 4 D.-K.

Il mito di Prometeo è stato quasi costantemente presente nella coscienza culturale dell'Occidente come emblema dello sviluppo dell'umanità, legato alle *technai* e alla scienza.

[164] Il termine *machina* ricorre frequentemente negli scritti di Giordano Bruno, in riferimento all'universo e agli astri, e al corpo umano. «Il segreto dell'arte della natura, così come dell'arte dell'uomo risiederebbe [...] nella dialettica dei contrari [. . .] L'arte dei contrari sarebbe a base della fabbricazione e dell'efficacia delle macchine della natura, come pure delle opere e delle macchinazioni dell'uomo» (Canone 2005, p. 300).

Particolarmente interessante riguardo al dibattito tra arte e natura è il breve scritto *Idiota triumphans* (vd. ed. Aquilecchia 1957, p. 13).

Nello *Spaccio de la bestia trionfante* è ben evidente l'importanza delle 'arti' nella storia dell'umanità: «[Giove] soggionse che gli dèi aveano donato a l'uomo l'intelletto e le mani, e l'aveano fatto simile a loro donandogli facultà sopra gli altri animali; la qual consiste non solo in poter operar secondo la natura et ordinario, ma et oltre fuor le leggi di quella: acciò (formando o possendo formar altre nature, altri corsi, altri ordini con l'ingegno, con quella libertade senza la quale non arrebe detta similitudine) venesse ad serbarsi dio de la terra. Quella certo quando verrà ad essere ociosa, sarà frustatoria e vana, come indarno è l'occhio che non vede, e mano che non apprende. E per questo ha determinato la providenza che vegna occupato ne l'azzione per le mani, e contemplazione per l'intelletto; de maniera che non contemple senza azzione, e non opre senza contemplazione. Ne l'età dumque de l'oro per l'Ocio gli uomini non erano più virtuosi che sin al presente le bestie son virtuose, e forse erano più stupidi che molte di queste. – Or essendo tra essi per l'emulazione d'atti divini, et adattazione di spirituosi affetti, nate le difficultadi, risorte le necessitadi, sono acuiti gl'ingegni, inventate le industrie, scoperte le arti; e sempre di giorno in giorno per mezzo de l'egestade, dalla profundità de l'intelletto umano si eccitano nove e maravigliose invenzioni. Onde sempre più e più per le sollecite et urgenti occupazioni allontanandosi dall'esser bestiale, più altamente s'approssimano a l'esser divino» (166-167, ed. Canone 2001, p. 205 s.).

[165] Nella concezione aristotelica, il movimento è dovuto a una causa che coesiste con il corpo messo in movimento: nel moto 'naturale', causa è la natura stessa dei corpi, leggeri o pesanti. Essa fu criticata da Giovanni Filopono, e più tardi da Giovanni Buridano (teoria dell'*impetus*). Vd. Lamarra 2005, pp. 400, 404, 414 s., 418, e in particolare p. 402: «Fino a Newton [...] si assume, quasi come un principio di intelligibilità dei fenomeni naturali, che questi ultimi siano di natura meccanica, quindi spiegabili grazie ai concetti di figura e di movimento, e che il movimento, a sua volta, si trasmetta esclusivamente per contatto. Con la pubblicazione nel 1687 dei *Principia* di Newton, quest'immagine dell'universo fisico, che contrassegnava la cesura operata dai moderni nei confronti di tutto il pensiero scientifico precedente, viene a sua volta radicalmente sovvertita [...] Per spiegare il fenomeno della gravità, viene introdotta una forza fisica di attrazione che, esercitando il suo potere a distanza, pare violare il principio di base della meccanica, poiché per il suo esercizio non richiede che si dia contatto alcuno tra i corpi». Veneziani individua nella riflessione di Vico sul tema delle macchine un contributo importante in un'epoca di transizione, «in quella crisi di fondamenti che attraversò la cultura e la scienza a cavallo del Settecento, tra Cartesio e Newton» (2005, p. 475). Per la teoria vichiana del *conatus*, vd. *L'antichissima sapienza degli Italici* (*De anti-*

quissima Italorum sapientia, trad. it. a cura di Greco 2008, in particolare p. 250 ss.).

[166] Molto significativa e riassuntiva di posizioni diverse, antiche e moderne, è l'ampia trattazione contenuta nell'*Encyclopédie de Diderot et d'Alembert* alla voce *ame* [sic] *des bêtes*, che è anche una riflessione sul concetto di macchina e di automa (vd. anche le voci *art* e *méchanicien*). Il compilatore, l'Abbé Yvon (sull'articolo che è in realtà un *collage*, vd. Casini 2003, pp. XXII; 80-97; la traduzione del passo citato all'inizio è a p. 83), analizza la teoria degli animali-macchina che si impone con Descartes, secondo cui l'apparente sensibilità degli animali non sarebbe altro che l'effetto di reazioni meccaniche: «Descartes suivi d'un parti nombreux, est le premier philosophe qui ait osé traiter les bêtes de *pures machines* [...] Descartes sur ce principe, qu'on peut expliquer toutes les actions des bêtes par les lois de la méchanique, a prétendu qu'elles n'étoient que de simples machines, de purs automates. Notre raison semble se révolter contre un tel sentiment: il y a même quelque chose en nous qui se joint à elle pour bannir de la société l'opinion de Descartes» (vd. anche le voci *ame* e *animal*). La riduzione degli animali a pure macchine non fu accettata da John Locke (vd. *Saggio sull'intelligenza umana* II 11, 11 – trad. it. di Pellizzi, 1999, p. 165 – cfr. II 23, 12; 27, 6-9; IV 3, 25 s.; 6, 11). Sulla ricorrenza del termine *machina* nel corpus cartesiano e in Locke, vd. Armogathe 2005; Sina 2005.

Nel Seicento, l'immagine della natura come di un'immensa macchina è diffusa: «Non si tratta peraltro di un'immagine genericamente allusiva o metaforica ma, più precisamente, di un modello: la natura non funziona in qualche modo alla stregua di una macchina, ma è davvero una gigantesca, complicatissima macchina e non altro che macchine, combinazioni di meccanismi, sono – ad accezione dell'uomo – tutti gli organismi viventi che la popolano. Se nel 1605 Keplero si propone arditamente di sostituire ad un cielo vitalistico, visto quasi come un animale divino, un cielo meccanico funzionante sul modello di un orologio (*instar horologii*) e descrivibile in linguaggio matematico, già nel 1636 – prim'ancora dunque del *Discours de la methode* – Mersenne [...] considera gli animali alla stregua di macchine, le cui reazioni agli stimoli esterni sono necessarie tanto quanto è necessario che le ruote di un orologio seguano i pesi o la molla che le tira» (Lamarra 2005, p. 401).

[167] Notissimo è il titolo che Julien Offroy (Offray) de La Mettrie diede alla sua opera: *L'homme-machine*. Sullo sviluppo di questa teoria in rapporto alla tradizione cartesiana e ad altre tradizioni, vd. Verbeek 2005.

[168] Il concetto di *machina mundi* ha avuto larga fortuna, seppure con diverse impostazioni a seconda delle epoche e degli orientamenti, vd. Rossi 1976; Canone 2005, p. 307 ss.; Lamarra 2005, p. 418 s.;

Pimpinella 2005, p. 421 ss.; Simeoni 2005, p. 153 s.; Sina 2005, p. 345 ss.; Stabile 2005, p. 331; Veneziani 2005, p. 464; Viganò 2005, p. 499; Berryman 2009, pp. 34 ss.; 146 ss. L'espressione *machina mundi* si legge in Lucrezio V 96 («moles et machina mundi»; cfr. 234: «natura daedala rerum»). In Vitruvio, il concetto aristotelico dell'imitazione della natura da parte delle tecniche (vd. Aristotele, *Fisica* II 2, 194 a 21 s.) si incontra con l'idea di una guida, che risente del *Timeo* di Platone (vd. il passo X 1, 4 citato sopra). In questo passo, lo sviluppo delle tecniche si inserisce in una rappresentazione del processo di civilizzazione (cfr. II 1), colto dal punto di vista del 'meccanico' che dà enfasi al ruolo degli strumenti tecnici nell'evoluzione della condizione umana. «Lo spaccato storiografico riguarda soltanto, dell'intero processo di civilizzazione, la parte corrispondente all'età del ferro e lo schema della trattazione vitruviana corrisponde a quello delle invenzioni collocate da Lucrezio (5, 1350 sgg.) successivamente alla scoperta del ferro: la tessitura, la semina e le altre tecniche di coltivazione della terra, lo sfruttamento di vigneti e oliveti. Vitruvio, lettore e ammiratore di Lucrezio, ha forse presenti questi versi del *De rerum natura*, ma il modello principale per questa storia della civiltà tecnica sarà stato Posidonio», Romano 1997, p. 1368 s. Anche in Posidonio emerge il concetto della tecnica come imitazione della natura, vd. fr. A321 Vimercati (la fonte è Seneca, *Epistola* 90). Significativa la definizione che Livio dà di Archimede: «unicus spectator caeli siderumque, mirabilior tamen inventor ac machinator bellicorum tormentorum operumque quibus <quicquid> hostes ingenti mole agerent ipse perlevi momento ludificaretur» (XXIV 34, 2).

[169] Vd. Krafft 1970, p. 129 ss.; Clagett 1981, pp. 11 s.; 22; Fleury 2002, p. 268. Bottecchia sostiene che la tradizione manoscritta della *Meccanica* «documenta una conoscenza sicura del testo greco, che ininterrottamente dal dodicesimo secolo si protrae sino al pieno Rinascimento. Essa testimonia altresì che l'opera non fu nell'Antichità ignorata; i manoscritti infatti, nel presupporre continuità di lettura, suggeriscono attenzione al testo, se non anche continuità di utilizzazione» (2000, p. 7). Micheli afferma invece che la *Meccanica* ebbe «una scarsa o nessuna eco nel mondo antico (1995, p. 117)

[170] Vd. Harlfinger 1980, p. 456 (gli scritti non tradotti in latino nel Medioevo sono, oltre alla *Meccanica*, l'*Etica Eudemia*, con esclusione di VIII 1-3, *Pneuma*, *Melisso Senofane e Gorgia*, *Venti*); Clagett 1981, p. 91 s. (il problema viene lasciato aperto); Bottecchia 2000, p. 11 s.

L'assenza di una traduzione non significa ovviamente che il testo fosse inaccessibile, e che non esercitasse, seppure indirettamente, un'influenza, vd. Rose/ Drake 1971, p. 100 s.; Laird 1986, p. 45.

[171] Vd. *Lettera dell'Aurispa al Traversari* (datata Bologna, 27 agosto 1424), contenente un elenco dei volumi trovati, in Sabbadini 1931, p. 11 s.: «gentilium auctorum volumina Venetiis habeo ducen-

ta triginta octo, ex quibus aliqua tibi quae rarissimo inveniri solent nominatim dicam [...] Aristotelis aliqua, quae pridem in luce non erant: Opus rhetoricum ad Alexandrum, aliud in Ethicis solemne, cuius titulus est Εὐδήμια, aliud De vaticinio in somnis, aliud De his quae in orbe mira dicuntur, aliud De machinis et plura alia eiusdem philosophi». L'Aurispa era ripartito da Costantinopoli per Venezia nel 1423, vd. Sabbadini pp. XIV ss.; XVII; 10 ss.; Harlfinger 1980, p. 461.

[172] Vittore Fausto era in Francia al seguito di Giovanni Badoer, ambasciatore della Serenissima (vd. Piovan 1995, p. 398). Nella lettera di dedica «Ad Ioannem Baduarium equitem», l'autore si sofferma sulla difficoltà del testo e sull'impegno profuso nella sua traduzione. Vd. anche Rose/ Drake 1971, p. 77 s.

[173] Gli *Opuscula* in cui la traduzione è inserita furono pubblicati di nuovo a Parigi nel 1530. Ammiratore di Aristotele, Leonico Tomeo unisce nella sua attività di editore e di traduttore l'approccio filologico e l'indagine filosofica; vd. Rose/ Drake 1971, p. 79 s.; Laird 1986, p. 48 s.; Lohr 1988, pp. 452-454; Russo 2005, pp. 617-621. In seguito, i commenti della *Meccanica*, ma anche le edizioni, saranno spesso accompagnati da schizzi e disegni geometrici, o da più elaborate ricostruzioni, secondo il gusto dell'epoca.

L'esigenza di visualizzare le tecnologie militari dell'antichità fu espressa dalle *machinae pictae* medievali; essa si consolidò nel Quattrocento, secolo che segna l'inizio del moderno disegno di macchine, vd. Galluzzi 2005, p. 242.

[174] «L'ouverture de la session tardait. Les savants théologiens qui se trouvaient envoyés dans cette petite ville, morte en temps ordinaire à la vie intellectuelle, s'arrangèrent pour passer le temps de la façon la moins désagréable qu'il fût possible. Chacun avait apporté avec soi quelques livres pour se délasser quelquefois des controverses théologiques. Diego de Mendoza, qui devait assister au concile comme représentant de l'empereur Charles-Quint, fit venir de Venise la riche collection de manuscrits grecs et autres livres que, depuis plusieurs années, il s'occupait d'y réunir. On se prêta mutuellement ses livres [...] Le goût de la philosophie et aussi du grec était général parmis ces ecclésiastiques, en majeure partie italiens. Les doctrines le plus en faveur au sein de cette docte assemblée étaient sans contredit celles d'Aristote et de la scolastique. Mendoza et le petit groupe des Pères espagnols partageaient ces mêmes préférences. De la réunion de ces hommes éminents dans une petite cité et des loisirs dont ils jouissaient malgré eux, sortit une *académie aristotélique*, qui ne devait durer que ce que dura la première session du concile, mais qui entretint alors à Trente un foyer très vif d'érudition, et, notamment, ne paraît pas avoir été sans influence sur le développement que reçut la renaissance des lettres en Espagne». Il pas-

so, citato da R. Foulché-Delbosc, editore della rivista (p. 365 s.), è tratto da *Essai sur les origines du fonds grec de l'Escurial*, Paris 1880, pp. 79-80. Vd. anche Lohr 1988, p. 193 s.; Navarro Brotons 2008, p. 240 ss.

[175] Antonio Guarino era al servizio di Alfonso II d'Este: Rose e Drake (1971, p. 96 ss.) mettono in rilievo che fu un ingegnere a fare una prima traduzione italiana; tra gli altri ingegneri che nello stesso secolo si interessarono alla *Meccanica*, dal punto di vista tecnico, vengono ricordati Giuseppe Ceredi, Vittorio Zonca, Buonaiuto Lorini, Giambattista Aleotti, Alessandro Giorgi, Agostino Ramelli, Giovanni Branca.

[176] Una seconda edizione fu pubblicata a Venezia nel 1565. Vd. Rose/ Drake 1971, p. 82 ss.; Laird 1986, p. 49 ss.; Lohr 1988, p. 329 s.

L'interesse di Alessandro Piccolomini per la *Meccanica* sarebbe scaturito proprio dall'incontro con Diego Hurtado de Mendoza, vd. Rose/ Drake 1971, p. 82; Derenzini 1985, p. 43.

[177] Vd. Perina 1968, p. 624 s.

[178] Vd. Rossi 1976, p. 24 ss.; Galluzzi ricorda Francesco Maurolico, Federico Commandino, Niccolò Tartaglia, Francesco Barozzi, Giovan Battista Benedetti, Guidobaldo del Monte, Alessandro Piccolomini, Bernardino Baldi, il Giorgi, e l'Aleotti: «Nei testi degli esponenti di quell'innovativo movimento culturale risuonano con insistenza puntigliose rivendicazioni della nobiltà della meccanica, fondate sul suo fondamento matematico [...] Questo nuovo tipo di 'meccanico' si sforza di individuare le leggi che regolano il funzionamento delle macchine, di stabilirne le proporzioni ottimali e di calcolarne teoricamente il rendimento. Rivendica con caparbietà ed orgoglio l'impossibilità di operare efficacemente prescindendo dalla conoscenza delle ragioni matematiche. Raramente egli delinea macchine in carne ed ossa, preferendo le schematizzazioni geometriche dei dispositivi meccanici elementari. Nella produzione di questo nuovo genere letterario non si incontrano infatti più *machinae pictae*. Esse seguitarono viceversa a popolare un altro corposo filone letterario, quello dei *Teatri di macchine*, che riscosse negli stessi decenni un enorme successo» (2005, p. 260 s.).

Ragioni storiche e culturali portarono progressivamente a una rivalutazione delle arti meccaniche tra il XV e il XVI secolo. «Nelle opere degli artisti e degli sperimentatori del Quattrocento, nei libri di macchine e nei trattati degli ingegneri e dei tecnici del secolo XVI si fa strada una nuova considerazione del lavoro, della funzione del sapere tecnico, del significato che hanno i processi artificiali di alterazione e trasformazione della natura. Anche sul piano della filosofia, in ambienti assai attenti a questo tipo di problemi, emerge una valutazione delle *arti* ben diversa da quella tradizionale: alcuni dei procedimenti dei quali fanno uso i tecnici e gli artigiani per modificare e

alterare la natura giovano alla conoscenza effettiva della realtà naturale, valgono anzi a mostrare – come fu detto in esplicita polemica con le filosofie tradizionali – la natura in movimento. La difesa delle arti meccaniche dalla accusa di indegnità, il rifiuto di far coincidere la cultura con l'orizzonte delle arti liberali e le operazioni pratiche con il lavoro servile, implicavano in realtà l'abbandono della concezione della scienza come disinteressata contemplazione della verità, come ricerca che nasce solo *dopo* che si sono apprestate le cose necessarie alla vita. E alla polemica antiaristotelica si unisce sovente l'altra – largamente diffusa entro la letteratura tecnica – rivolta contro ogni forma di sapienza occulta e segreta, contro l'antichissima concezione sacerdotale del sapere» (Rossi 1976, p. 7).

[179] All'interno dei *Quesiti* (*Quesiti et inuentioni diuerse*), il libro settimo ha come argomento di studio le bilance: «Libro settimo delli Quesiti, et Inventioni diverse, de Nicolo Tartaglia. Sopra gli principij delle Questioni Mechanice di Aristotile» (vd. ed. 1554, ff. 78r-82r; l'edizione precedente è del 1546). Interlocutore, in questo libro, è il «Signor Don Diego Hurtado di Mendozza, Ambasciator Cesareo in Venetia»; vengono criticate le inesattezze del testo aristotelico: i commentatori hanno osservato che forse è la prima volta che esso è accusato «di errore a viso aperto» (vd. Masotti 1959, p. XXXV).

Nella lezione introduttiva alla traduzione di Euclide (*Euclide Megarense acutissimo philosopho solo introduttore delle scientie mathematice. Diligentemente rassettato, et alla integrità ridotto, per il degno professore di tal Scientie Nicolò Tartalea Brisciano [...] Con una ampla espositione dello istesso tradottore di nuovo aggionta [...] Di nuovo con ogni diligenza ben corretto, e ristampato*, In Venetia [...] 1586), l'autore richiama l'inizio della *Metafisica*, in cui si afferma che tutti gli uomini desiderano sapere, e gli *Analitici secondi*, per concludere che «il sapere non è altro, che intendere per demostratione» (f. 3r).

Sull'attività di Niccolò Tartaglia, vd. Masotti 1959, pp. XVII-XL; Rose/ Drake 1971, p. 87 s.; Laird 1986, p. 52 s.

[180] L'epistola dedicatoria è datata 1569; l'opera fu tuttavia pubblicata molto dopo, nel 1613. Particolarmente significativa è la premessa: «De Philosophiae divisione, & Quaest. Mechanicis» (pp. 7-10). Seguono le questioni aristoteliche, l'*Appendix nonnullarum quaestionum mechanicarum per Maurolycum* (p. 29 ss.), i *Problemata maurolyca* (p. 49 ss.).

Francesco Maurolico tradusse molte opere di matematici antichi, tra cui quelle di Euclide e di Archimede, vd. Rose/ Drake 1971, p. 88 s.; Laird 1986, p. 53 ss.; Lohr 1988, p. 252.

[181] Il trattato uscì a Pesaro nel 1577. La traduzione di Filippo Pigafetta fu pubblicata a Venezia nel 1581 (*Le Mechaniche dell'illustriss. sig. Guido Ubaldo de' Marchesi del Monte tradotte in volgare*

dal sig. Filippo Pigafetta nelle quali si contiene la vera Dottrina di tutti gli Istrumenti principali da mouer pesi grandissimi con picciola forza. A beneficio di chi si diletta di questa nobilissima Scienza; & massimamente di Capitani di guerra, Ingegnieri, Architetti, & d'ogni Artefice, che intenda per via di Machine far opre marauigliose, e quasi sopra naturali). È molto significativo che già nel titolo compaiano sia l'elogio della meccanica «nobilissima Scienza» sia il riferimento a ciò che di 'meraviglioso' e 'quasi soprannaturale' si può ottenere dalla macchine, come sottolinea anche la lettera di dedica del Pigafetta «All'Illustrissimo Signor Giulio Savorgnano, conte di Belgrado». In essa si conferma che «la scienza delle Mechaniche» giova a «molte, & importanti attioni della nostra vita», e che per questo fu «stimata degna di laudi singularissime» da filosofi e da re, e studiata dai matematici: «Tocca quella parte della Filosofia, che tratta de gli elementi in universale, & del moto, & della quiete de' corpi, secondo i luoghi suoi, assegnando la cagione in certo modo de' loro movimenti naturali; & anco sforzandoli, per via di machine à partirsi da proprij siti, gli trasporta all'insù, & per ogni lato in mouimenti contrari alla natura loro».

Guidobaldo del Monte attua un processo di integrazione della meccanica peripatetica e di quella archimedea, considerando i principi aristotelici come punto di partenza per l'analisi di Archimede, ma attaccando le posizioni dei cosiddetti *conciliatores* (tra cui Leonardo da Vinci, Cardano, e Tartaglia); vd. Rose/ Drake 1971, p. 89 ss.; Laird 1986, p. 55 s.; Micheli 1995, pp. 153-167 e *passim*. La sua conoscenza degli autori antichi di matematica, e in particolare di Euclide, fu fondamentale per il suo lavoro sulla prospettiva (*Perspectivae libri sex*) uscito a Pesaro nel 1600, vd. Sinisgalli 1984. Sempre a Pesaro, nel 1588, fu pubblicata un'altra sua fortunata opera: *In duos Archimedis aequeponderantium libros paraphrasis scholijs illustrata*.

«Sulla traccia delle *Quaestiones* pseudoaristoteliche, Guidobaldo concepisce la natura come una realtà che può essere dominata, quasi ingannata per astuzia dall'intelligenza e dal lavoro, fino alla realizzazione di quei "miracoli" attuati dall'arte che non rientrano nell'ordine immediatamente "naturale" delle cose» (Rossi 1976, p. 64). Egli dimostra pertanto una concezione del rapporto tra l'arte e la natura, ben diversa da quella di Galileo. Difende appassionatamente la dignità delle arti meccaniche: utilità e nobiltà concorrono «ad adornare le discipline meccaniche» che traggono origine «dall'armonico congiungimento e dalla comunione concorde della geometria e della fisica» (*ibid*., p. 63).

Le lettere che si scambiarono Guidobaldo del Monte, il gesuita Cristoforo Clavio, professore di matematica al Collegio Romano, e Galileo costituiscono una significativa testimonianza del dibattito che si svolse nel campo della meccanica. «Il loro contenuto riguarda

le questioni del centro di gravità e dell'equilibrio della bilancia al variare del punto di sospensione nei confronti del suo baricentro. Sono due problemi classici della statica antica e medievale che arrivarono al Cinquecento sia attraverso i testi di Aristotele e di Archimede che per l'opera di Giordano Nemorario [...] Il fenomeno dell'umanesimo scientifico del Quattro-Cinquecento, che vide impegnati numerosi cultori delle scienze a recuperare nelle loro forme originali le opere classiche di Euclide, Apollonio, Pappo e soprattutto Archimede, determina una svolta negli studi in generale ed in quelli della meccanica in particolare: da un punto di vista metodologico si accentua quella tendenza all'impostazione geometrica che era presente già in Giordano, e da un punto di vista contenutistico, il concetto di centro di gravità, introdotto da Archimede, diventa il perno della trattazione dei problemi statici» (Montebelli, in Gamba/ Montebelli 1988, p. 216 s.).

[182] Anche Baldi è archimedeo e aristotelico nello stesso tempo, come Guidobaldo, che egli cita molto spesso. L'opera scritta negli anni ottanta (la data oscilla tra il 1582, il 1586, 1589 e 1590) fu pubblicata nel 1621.

Sull'ampia attività di Bernardino Baldi, biografo di antichi matematici e traduttore di altre opere antiche di meccanica, e sull'ambiente tecnico e scientifico del Ducato di Urbino, sede tra Cinquecento e Seicento di una scuola scientifica di rinomanza italiana ed europea, vd. Rose/ Drake 1971, p. 90 ss.; Laird 1986, p. 56 ss.; Lohr 1988, p. 31; Gamba/ Montebelli 1988; Serrai 2002; Nenci 2005 (in particolare i saggi di Franco Repellini, Micheli, Gatto, Carugo, Gamba).

Muzio Oddi lamenta la cattiva stampa di questo commento, in una lettera a Pier Matteo Giordani: «Non so se V. S. haverà hauto pacienza di legger sino al fine considerationi del Baldi sopra le Mecaniche d'Aristotile, perché a dire il vero coloro che hanno intagliato le figure si sono portati sì vituperosam.te male, che mancandoci la maggior parte delle lettere, et coloro, che l'hanno poi stampate postole fuor dei luoghi loro, che è così insoportabile, et tanto difficile a intenderle, che se io non era fuori di Milano quando le viddi, et in paese otioso con mal tempo che non poteva far altro l'haverei abbandonate dieci volte» (vd. il documento n. 5, in Gamba/ Montebelli 1988, p. 187; vd. anche p. 122 ss.). La lettera contiene un'interessante difesa di Aristotele, che documenta il fervido dibattito del tempo: «al tempo d'Aristotele, non essendosi ancora ordinata la scienza della Mecanica, come fece poi Archimede, pare che sia un miracolo che quell'huomo benché havesse divino ingegno ne potesse saper tanto, et credendosi all'hora, che il fondam.to di tutta questa facoltà procedesse dal cerchio perché stimandosi come è in effetto che tutti gli strumenti si riducessero alla leva, la quale si move d'in-

torno al fucilm.to come d'intorno al centro, fù creduto per questo, che dal cerchio si dovessero prendere i luoghi da provar l'altre cose, et per questo s'afaticò nel p[rim]o molto d'intorno alle sue lodi Archimede poi dopo lungo spatio, trovò altro modo, et fece i suoi fondam.ti su la natura del centro della gravità, et è più proprio, et più vero, ma questo accresce et non scema le lodi d'Aristotele».

[183] Nella sezione intitolata *De mechanicis* (pp. 141-167), vengono commentate, a partire dal capitolo X, alcune questioni aristoteliche.

Sull'attività di Benedetti, vd. Cappelletti 1966; Lohr 1988, p. 38.

[184] Nell'edizione di Sylburg, di poco precedente (1587; nel 1593 esce l'edizione latina, di nuovo a Francoforte), le brevi note sono soprattutto di carattere filologico. Monantheuil cita molte opere mediche e letterarie antiche, e fa riferimento a precedenti traduzioni e commenti della *Meccanica*. Nella spiegazione delle macchine semplici egli tiene ampiamente conto dell'opera di Guidobaldo del Monte; ricorda anche Pedro Nuñes (vd. più avanti). Nell'*Epistola dedicatoria* («Henrico IIII Galliae et Navarrae Regi Christianissimo»), integra l'immagine di Dio geometra con quella di Dio meccanico; il mondo è una macchina di cui Egli è costruttore ed artefice: «Si ad illud ἀειγεωμετρεῖν addisset Plato, καὶ ἀειμηχανᾶσθαι, luculentius multo meo iudicio, & diuinae maiestati congruentius, atque magnificentius respondisset. Quid enim est Mundum hunc ex nihilo condidisse: suis omnibus numeris absoluisse: ponderibus undique suis aequilibrasse: longitudine, latitudine, altitudine, in omni habitudine, & respectu commensurauisse: eundemque in eodem statu & perfectione assiduo retinere, stabilire, conseruare, quam ἀειγεωμετρεῖν καὶ ἀειμηχανᾶσθαι? Mundus enim hic machina est, & quidem machinarum maxima, efficacissima, firmissima, formosissima» (ed. 1599).

Vd. Rose/ Drake 1971, p. 100; Lohr 1988, p. 269.

[185] Biancani raccoglie e commenta tutti i luoghi matematici di Aristotele; al volume pubblicato nel 1615, è acclusa, nella prima parte, una *dissertatio* («De mathematicarum natura dissertatio una cum clarorum mathematicorum chronologia»).

Vd. Grillo 1968; Laird 1986, p. 64; Lohr 1988, p. 44 s.; Wallace 1983, p. 367 s.: Biancani era allievo del gesuita Cristoforo Clavio; entrambi consideravano la possibilità «di svolgere la meccanica come una rigorosa *scientia* matematica [...] alla luce dei canoni aristotelici». Biancani riteneva anche che essa fosse «capace di generare *demonstrationes potissimae* superiori a quelle reperibili in moltissime altre discipline» (p. 395).

[186] Vd. ed. di Favaro, vol. XIII p. 377 s. (lettera nr. 1839, datata Teano, 15 novembre 1627). Cfr. *ibid.* p. 368 s. (nr. 1831, Teano, 17 luglio 1627); p. 389 s. (nr. 1851, Teano, 24 gennaio 1628: «La lettera di V. S. mi è stata d'infinito favore, ma non d'intero contento, mentre da essa ho intesa la sua indispositione, dalla quale voglio credere che

a quest'hora ne sarà libera affatto. Ho goduto quel che mi ha significato del suo pensiero intorno a quel luogo di Aristotile [...] prego quanto posso a favorirmi, subito che sarà possibile, di qualche cenno sopra quel particulare, come una linea minore si possi proportionare ad una maggiore, ancorchè tutte dua costino d'infiniti punti, stante che la commensuratione s'attendi secondo le parti divisibili»); vol. XIV p. 23 (nr. 1935, Roma, 2 marzo 1629: «Vedendo di non havere risposta da V. S. per spatio di più d'un anno sopra quelle difficultà che mi occorrevano nella questione 24 delle Mechaniche d'Aristotele, forsi per naufragio di lettere e star la mia residentia lontana dal commercio, feci finalmente proseguire la stampa che tenevo sospesa in Roma [...] Conosco d'essere troppo ardito con esporre i miei mancamenti al sole prima di riceverne la correttione; ma la necessità d'esser troppo impegnato, co 'l principio dato alla stampa [...] e l'osservanza che professo [...] alla molta gentilezza di V. S., mi farà essere compatito, convenendomi esporgli quel che non potevo coprire, dopo haver scoperto quel che intendevo già anni sono, senza tempo di ruminare e conferir le materie con altri, come si suole, per trovarmi in un'aspra solitudine d'huomini di lettere et impiegato in materie differentissime, come sono quelle del governo della mia chiesa e d'una diocesi grandissima, quando più pensavo di attendere a me solo et allo studio privato. Accetti dunque V. S. questo picciolo segno del molto che la riverisco e stimo [...]; e favoriscami con suoi comandamenti avisarmi liberamente ciò che senta dell'opra, poichè quello che non è più a tempo per l'emendatione del fatto, sarà cautela per qualche altra opra da farsi»); p. 34 s. (nr. 1945, Roma, 20 aprile 1629: «L'ambitione grande c'ho d'imparare e d'esser favorito da V. S. con un'occhiata che dia a quel commento che feci sopra le Mechaniche d'Aristotele, m'ha fatto sentire assai che V. S. non habbi ricevuto il libro dopo tanto tempo che gli lo mandai [...] aspettarò che V. S. mi honori della parte che mi promette di quella sua speculatione sopra la questione 24»); p. 44 (nr. 1956, Teano, 2 settembre 1629: «Il non vedere risposta dell'ultima, ch'io scrissi a V. S. da Roma, in quattro mesi, e non sapere che habbia ancora ricevuto quel libro che gli mandavo sopra le Mechaniche d'Aristotele, m'ha fatto risolvere di mandargliene un altro volume [...]; e di nuovo la prego ad honorarmi con un'occhiata che dia all'opra et una risposta all'autore, essendo tanto suo servitore di vero affetto, accennandomi i mancamenti per riparargli un'altra volta, già che non ho potuto in questa»). Galileo darà una soluzione del problema nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Giornata prima) che lascerà tuttavia insoddisfatti i suoi contemporanei, vd. edizione (e nota di commento) di Brunetti 1980, II p. 590 ss.

Il commento è strutturato in due parti: nella prima si tratta dei principi di meccanica, nella seconda (da p. 73) si esaminano le que-

stioni aristoteliche alla luce dei principi già esposti. Laird si sofferma su questo importante commento, che segna un avanzamento nella riflessione sulla meccanica, tenendo anche presente la conoscenza che Guevara sembra avere dell'opera di Zabarella (1986, p. 65 ss.). Vd. anche Lohr 1988, p. 178; Wallace 1983, p. 400 s.: «Quale relazione abbia precisamente avuto Guevara con i Gesuiti non è chiaro, ma la sua terminologia nel discutere la meccanica come scienza è strettamente simile alla loro, ed io non sarei sorpreso se egli fosse stato influenzato dagli insegnamenti del Collegio. Ciò che è chiaro è che Guevara sviluppò una scienza della meccanica che poteva abbracciare sia la statica sia la dinamica sulla scorta di comuni princìpi aristotelici, che la sua opera fu conosciuta e lodata da Galileo, e che le sue discussioni sulla "ruota di Aristotele" (riguardo alla quale egli ebbe una corrispondenza con Galileo) potrebbe senz'altro avere rinvigorito l'interesse di Galileo per la continuità dello spazio, del movimento, e delle variazioni di velocità, allorché egli stava dando i tocchi finali alle *Due nuove scienze*».

[187] Rose/ Drake (1971, p. 92 ss.) e Laird (1986, p. 58 ss.; cfr. p. 48) si soffermano anche sui predecessori di Galileo, nella cattedra di matematica, Pietro Catena e Giuseppe Moletti (Moletus; Moletius; Moleto): mentre le notizie riguardanti l'insegnamento di Catena sono solo indirette, il testo delle lezioni di Moletti è conservato in un manoscritto dell'Ambrosiana (S. 100 sup.), con il titolo: *In librum Mechanicorum Aristotelis expositio* (vd. Laird 2000, pp. 19 s.; 55). Moletti compose anche un dialogo, non finito, sulla meccanica, citando o seguendo da vicino l'opera aristotelica: esso è stato pubblicato solo di recente da Laird (2000; vd. anche Camerota/ Helbing 2000, p. 86 ss.). Alla meccanica, «arte dell'ingegniero» (Laird 2000, p. 72), viene riconosciuto un valore scientifico e conoscitivo, mentre viene sottolineata la differenza rispetto alle attività pratiche, e viene delineato il suo posto nella classificazione delle scienze (*ibid.*, *Appendix*, p. 182 ss). Particolarmente significativo è questo passo: «Che sia scienza si dimostra così: ogni habito di conclusione acquistato col mezo della dimonstratione è scienza, poi che tale è la definitione della scienza; ma la mecanica è un tal habito; adonque la mecanica è scienza. [...] Che poi sia subalternata alla scienza matematica, lo dimostro con l'autorità d'Aristotele, il quale dice nel principio delle *Mecaniche* cose, oltre à ciò queste cose delle quali parliamo, "non sono al tutto naturali ne al tutto da quelle diverse: ma sono communi così alle cose naturali come alle matematiche". Percioche quanto alle dimostrationi sono matematiche, et quanto al soggetto, intorno à che versano, sono naturali. Allo stesso modo viene ad essere l'astronomia et la perspettiva» (*ibid.*, p. 78 s.). Nel *Dialogo* confluiscono tutte le tematiche del prologo della *Meccanica*; nella prima giornata, si parla delle «proprietà meravigliose del cerchio» e dei movimenti contrari delle

«sue medietà» (p. 86 ss.), del «principio del movimento circolare» (p. 90 ss.). Nella giornata seconda si esamina anche il moto «degli animati» facendo riferimento al *Moto* e alla *Locomozione degli animali* di Aristotele (p. 128 ss.). Sono possibili in parecchi punti confronti con passi della *Meccanica*, accuratamente segnalati da Laird. Cfr. A. Carugo, *Giuseppe Moleto: mathematics and the Aristotelian theory of science at Padua in the second half of the 16th-Century Italy*, in Olivieri 1983, I p. 509 ss.; Lohr 1988, p. 266 s.

Già Leonardo aveva sottolineato il collegamento tra meccanica e matematica, vd. il testo citato all'inizio. Leonardo, in parecchi luoghi dei suoi manoscritti, trascriverebbe quasi parola per parola le regole di proporzionalità di Aristotele (vd. De Gandt 1982, p. 99). Interessante sembra soprattutto il confronto relativo al concetto di forza e alle idee sul moto dei corpi in caduta libera: «Forza dico essere una virtù spirituale, una potenzia invisibile, la quale per accidentale esterna violenza è causata dal moto e collocata e infusa ne' corpi, i quali sono dal loro naturale uso retratti e piegati, dando a quelli vita attiva di maravigliosa potenzia; costrigne tutte le create cose a mutazione di forma e di sito; corre con furia alla sua desiderata morte, e vassi diversifigando mediante le cagioni. Tardità la fa grande e prestezza la fa debole; nasce per violenza e more per libertà; e quanto è maggiore, più presto si consuma. Scaccia con furia ciò che si oppone a sua disfazione, desidera vincere, occidere la sua cagione, il suo contrasto, e vincendo, sé stessa occide; fassi più potente dove truova maggior contrasto [...] la forza è causata dal moto, enfusa nel peso; e similmente il colpo è causato dal moto enfuso nel peso» (ms. A 34 v.; in Brizio 1980, p. 255 s.). Ovviamente, numerose sono in genere le osservazioni e le proposizioni relative agli «elementi macchinali» (*Codice Atlantico* 81 v.b, in Brizio, p. 348), tra cui le bilance; al movimento degli animali e al «mantenimento» del moto. «La scienzia strumentale over machinale è nobilissima e sopra tutte l'altre utilissima, con ciò sia che mediante quella tutti li corpi animati che hanno moto fanno tutte loro operazioni» (*Codice sul Volo degli Uccelli* 3 r., in Brizio, p. 348). «Ogni moto attende al suo mantenimento, overo ogni corpo mosso sempre si move, in mentre che la impressione della potenzia del suo motore in lui si reserva» (*Codice sul Volo degli Uccelli* 13 [12] r., in Brizio, p. 348).

Dijksterhuis (1980 p. 335 ss. e *passim*) afferma che nel campo della statica, Leonardo conosceva alcune opere di Archimede e gli scritti derivati dalla scuola di Giordano Nemorario; nel campo della dinamica aveva familiarità con Aristotele e con i suoi commentatori, fra i quali Alberto di Sassonia (p. 348). I suoi scritti testimonierebbero tutte queste influenze: «È sorprendente che egli riconosca incondizionatamente la relazione tra la forza che mette in moto un corpo e la velocità costante che esso acquista in conseguenza di questo moto,

una relazione che di solito viene indicata come il principio fondamentale della dinamica peripatetica. [...] Quando una forza muove un corpo in un dato tempo per una data distanza, la stessa forza muoverà metà di quel corpo nello stesso tempo per una distanza due volte maggiore. [...] Mentre in tal modo, assieme all'intera Scolastica e [...] insieme a tutti i fisici fino al Seicento inoltrato, egli segue sotto questo riguardo l'originaria dottrina di Aristotele, nella teoria dei proietti mostra di essere un seguace della teoria eterodossa dell'impeto» (p. 349).

Alla controversa questione dell'eventuale conoscenza, seppur indiretta, della *Meccanica* da parte di Leonardo accenna Galluzzi (1979, p. 85 s.). Vd. anche più avanti, nel commento, la nota 50.

[188] Vd. Drake 1988, p. 487 s.

[189] Vd. Rose/ Drake 1971; Galluzzi 1979, p. 74; Wallace 1983; Drake 1988, pp. 71; 229; 487 s. (cfr. pp. 29 ss., 67 ss.); Lohr 1988, pp. 157-161; Krafft 1990, pp. 52; 85 ss.; Micheli 1991; Besomi/ Helbing 1998, II pp. 181; 420 ss.; 447 ss.; 451; 459; 496; 526 ss.; 845 s.; 855 s.; Bottecchia 2000, p. 17 ss.; Festa/ Roux 2001; Helbing 2001, p. 218 (l'autore discute l'informazione data da Drake sull'esistenza di un commento di Galileo alla *Meccanica*, precisando di non aver trovato «ragguagli» di essa, e dando invece rilievo alla lettera indirizzata a Elia Diodati, in cui egli ravvisa «l'unica esplicita testimonianza di osservazioni critiche in forma di "postille" apportate da Galileo al trattato peripatetico di meccanica»; anche in base alla testimonianza di Vincenzo Viviani nel *Racconto istorico della vita di Galileo*, Helbing conclude che certamente Galileo intese «scrivere un dialogo, con interlocutori Salviati, Sagredo e Simplicio, sul *De incessu animalium* e sulle *Questioni meccaniche*, riservando a questi due trattati aristotelici parte della mai realizzata Giornata Quinta dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*»); Gatto 2002 (vd. in particolare per l'insegnamennto di Galileo a Padova, p. LIII ss.; l'autore, riesaminando le testimonianze, ritiene che «la denominazione *Questioni meccaniche* di Aristotele riportata nei *Rotuli*» sia «solo indicativa dello studio delle macchine semplici, e non vincolata allo specifico testo dello pseudo-Aristotele»; e che probabilmente «prima dell'arrivo di Galileo, l'insegnamento della meccanica nello Studio di Padova di fatto si era identificato con la lettura e commento delle *Questioni mecchaniche* dello pseudo-Aristotele», p. LVI; cfr. LXV s.). Vd. anche ed. di Favaro, vol. XIX, pp. 117-120, per gli «Argomenti della lettura di Galileo nello Studio di Padova» negli anni 1592-1604; dall'indicazione relativa all'anno 1598, risulta la lettura, da parte di Galileo, degli *Elementi* di Euclide e delle *Questioni meccaniche* di Aristotele (*ibid.*, p. 120). *Le Mecaniche* di Galileo furono tradotte in francese da Marin Mersenne (*Les mechaniques de Galilée mathematicien & ingenieur du duc de Florence Avec plusieurs*

additions rares, & nouvelles, utiles aux architectes, ingenieurs, fonteniers, philosophes, & artisans, Paris 1634).

Galluzzi (1979) dopo aver delineato tre fondamentali e distinti significati di *momentum-momento* («minima quantità in generale, infinitesimo di peso o di moto»; «inclinazione naturale al moto, prodotta dal peso o dalla leggerezza e a questi proporzionale»; «inclinazione 'meccanica', prodotta, oltre che dal peso, anche da altri fattori», p. 153), analizza gli usi e le occorrenze del termine in Galileo, mettendo in rilievo l'importanza che le opere di Aristotele (*Fisica* e *Meccanica*), di Archimede, i testi *de ponderibus*, gli studi di Guidobaldo del Monte, di Commandino, di Buonamici, di Benedetti e di Mazzoni ebbero nella formazione del giovane Galileo (p. 153 ss.; cfr. 415 ss.).

[190] La lettera di *Galileo a Elia Diodati in Parigi* è datata Arcetri, 23 gennaio 1638 (ed. Favaro, vol. XVII p. 262). Vd. anche la lettera di Raffaello Magiotti a Galileo, datata Roma, 21 marzo 1637 (ed. Favaro, vol. XVII, p. 50 s.; cfr. vol. VIII, pp. 567 s.; 615 ss.).

Alle opere, tra cui la *Meccanica*, e alle teorie aristoteliche, Galileo fa riferimento più volte; qui rinvio brevemente ad alcuni riscontri nell'edizione di Favaro: I pp. 260 ss.; 264, 35-265, 3; II pp. 149; 173; IV pp. 65; 69; 78; VII pp. 184; 447; VIII pp. 68-72; 152; 165; 173 s.; 310 ss.; 567 s.; 609 ss.; X pp. 55-57; XIII pp. 377 s.; 389 s.; XVII pp. 50 s.; 403; XIX pp. 120; 623. Besomi/ Helbing (1998) mettono in evidenza i confronti tra la *Meccanica* aristotelica e il *Dialogo sopra i massimi sistemi* di Galileo riguardo alla definizione di 'mobile veloce' (I p. 25: «– Salviati. [...] Sig. Simplicio: quando voi v'immaginate un mobile esser più veloce d'un altro, che concetto vi figurate voi nella mente? – Simplicio. Figuromi, l'uno passar nell'istesso tempo maggiore spazio dell'altro, o vero passare spazio eguale, ma in minor tempo»; II p. 181), alla teoria della composizione dei moti (II pp. 420 ss.; 448; 459), al moto dei proietti e delle figure rotonde, al lancio della fionda, alle direzioni contrarie assunte dalle parti di un cerchio in movimento (II pp. 451; 496 s.; 855), alla nozione di 'angolo del contatto' o 'angolo della contingenza' (II p. 460).

Vd. anche la nota 186, e più avanti, le note di commento alla traduzione. Nel *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, che trae origine da una discussione con alcuni scienziati aristotelici, Galilei giustifica in questo modo la sua posizione nei confronti di Aristotele: «E perchè la dottrina che io séguito nel proposito di che si tratta è diversa da quella d'Aristotile e da' suoi principii, ho considerato che contro l'autorità di quell'uomo grandissimo, la quale appresso di molti mette in sospetto di falso ciò che non esce dalle scuole peripatetiche, si possa molto meglio dir sua ragione con la penna che con la lingua, e per ciò mi son risoluto scriverne il presente Discorso: nel quale spero ancor di mostrare che,

non per capriccio, o per non aver letto o inteso Aristotile, alcuna volta mi parto dall'opinion sua, ma perchè le ragioni me lo persuadono, e lo stesso Aristotile mi ha insegnato quietar l'intelletto a quello che m'è persuaso dalla ragione, e non dalla sola autorità del maestro; ed è verisssima la sentenza d'Alcinoo, che 'l filosofare vuol esser libero» (ed. Favaro, vol. IV, p. 65). Nello stesso *Discorso*, ricorda un passo dei *Problemi*, esprimendo un'opinione diversa da Aristotele (vd. la mia edizione dei *Problemi* 2002, pp. XXXVI; 340 s.), e un principio della *Meccanica*: «Tal ragguagliamento tra la gravità e la velocità si ritrova in tutti gli strumenti meccanici, e fu considerato da Aristotile come principio nelle sue Questioni meccaniche: onde noi ancora possiamo prender per verissimo assunto che pesi assolutamente diseguali, alternatamente si contrappesano e si rendono di momenti eguali, ogni volta che le loro gravità con proporzione contraria rispondono alle velocità de' lor moti, cioè che quanto l'uno è men grave dell'altro, tanto sia in costituzione di muoversi più velocemente di quello» (*ibid.*, p. 69).

Il paradosso della ruota di Aristotele (problema n. 24) viene discusso da Galileo nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (vd. nel commento al testo la nota 268), «in connessione col problema della struttura della materia e con la sua spiegazione della coesione e resistenza dei solidi materiali, basata sull'idea dell'esistenza di vuoti infinitesimi tra le particelle della materia» (Carugo 2005, p. 333).

[191] I rapporti di amicizia e di scuola tra i vari personaggi sono brevemente delineati in Rose/ Drake 1971, p. 104; per un approfondimento rinvio alla bibliografia specifica.

[192] Più generalmente, la meraviglia fa parte del canone estetico e dell'intuizione rinascimentale della complessità della vita. Il naturale e il meraviglioso si intersecano per esempio nell'*Orlando furioso* dell'Ariosto, costituendone elementi essenziali. «Non è finto il destrier, ma naturale,/ ch'una giumenta generò d'un grifo» (4, 18): è l'Ippogrifo, quasi macchina volante, ed emblema di uno spettacolare e divertito superamento di limiti e confini, e di un continuo passaggio dalla fantasia alla realtà e viceversa.

[193] Vd. Laird 1986, p. 43 s.; 2000, p. 6 s.

[194] Vd. Clagett 1981, p. 89 ss. e *passim*; Laird 1986, p. 44 s.; 2000, p. 7 ss.

[195] Per la conoscenza di Archimede nel Medioevo, vd. Clagett 1964-1984; 1981, p. 11 s.; 27 ss.; 50 ss. e *passim*. Nel 1543 l'opera di Archimede fu tradotta in latino da Niccolò Tartaglia; nel 1544 uscì a Basilea un'edizione del testo greco, curata da Thomas Gechauff (Venatorius). La vicenda legata al codice C scoperto da Heiberg nel 1906, poi perduto e recentemente ritrovato, è nota anche a un pubblico più vasto, per l'eco che essa ha avuto nei *media*. Il difficile lavo-

ro di lettura del palinsesto è affidato a una squadra di esperti; i primi risultati sono documentati nello studio di Netz/ Noel 2008.

Niccolò Tartaglia, che come si è visto ebbe un ruolo importante nel diffondere la conoscenza di opere antiche e medievali di meccanica, tradusse in italiano Euclide (1543). Daniele Barbaro curò la traduzione e il commento di Vitruvio (1556 e 1567). Federico Commandino tradusse gli *Pneumatica* di Erone (la pubblicazione è del 1575); Bernardino Baldi gli *Automata* di Erone (1589). Al Commandino si devono anche le traduzioni di Archimede (1558), di Euclide (1572 e 1575); la sua traduzione di Pappo uscì postuma a Pesaro nel 1588.

[196] Vd. Laird 1986, pp. 48; 58 ss.; Camerota/ Helbing 2000, p. 79 ss. Quasi tutti i commenti fanno ampio riferimento a tutta l'opera aristotelica, e in particolare agli *Analitici secondi*, per quanto riguarda la classificazione delle scienze.

Il termine stesso 'meccanica' acquisisce un nuovo significato, anche sotto l'influsso delle opere antiche; nel *Porzio overo de le virtù* di Torquato Tasso si riflette invece la precedente tradizione, che dà valore alle scienze teoretiche, contrapposte alle arti meccaniche: «Signor mio, la degnità de le scienze è grandissima; laonde elle non sono dirizzate ad altro fine come l'arti mecaniche, con le quali sogliono gli uomini ricercar qualch'utilità ne le bisogne e ne l'opportunità de la vita; ma il fin loro è altissimo e collocato ne la contemplazione o ne la cognizione de la verità, la qual, conosciuta, acqueta l'intelletto ne la sua propria felicità, anzi il congiunge a Dio medesimo e, come dicono i Platonici, il fa collega de gli intelletti divini. Non debbiam dunque cercare se la geometria o se l'altre scienze possano servire a l'uso de la vita, percioché colui il qual costringe a servir le scienze è simile al tiranno, dov'egli faccia violenza a gli uomini liberi e nati per comandare. Libere deono esser le scienze, com'insegna Aristotele ne la *Divina filosofia*: e se libero è colui il quale è in grazia di se stesso, le scienze deono adoperarsi in grazia di se medesime, né altra grazia o altro giovamento o altro piacere o altra gloria è necessario che si ricerchi» (*Porzio* 7-8, II p. 945 Raimondi). Il termine *macchina* (*machina*) ricorre più volte in tutta l'opera del Tasso; particolarmente significativa appare un'espressione che si legge nelle *Lettere*: «questa gran macchina dell'universo» (LIZ 2001).

Nel Medio Evo, le *artes mechanicae*, faticose, sono attività plebee, e si contrappongono alle arti liberali. Nel Cinquecento, l'inserimento della meccanica tra le scienze dimostrative, come l'ottica e l'astronomia, si attua in base al recupero dell'eredità scientifica greca, vd. Camerota/ Helbing 2000, p. 83 ss.

[197] Brigitte Hoppe prende in considerazione anche il ricorso allo stesso schema negli studi di botanica del XVI secolo (1997, p. 123).

[198] Pedro Nuñes (*In Problema mechanicum Aristotelis de motu na-*

vigij ex remis Annotatio una, in *De arte atque ratione nauigandi libri duo*, 1573, pp. 121-126) commentò le questioni riguardanti l'arte della navigazione. Questo commento è ricordato da Henri de Monantheuil, allievo di Pierre de la Ramée (Ramus) cui era ben nota la *Meccanica*, che egli apprezzò, nonostante la sua opposizione al predominio dell'aristotelismo (*Scholarum mathematicarum libri unus et triginta*, Francofurti, 1569). Si è ipotizzato che il testo greco stampato nel 1566 a Parigi da Wechel (i cui eredi saranno gli editori anche dell'edizione curata da Sylburg), e accompagnato da disegni illustrativi, fosse da mettere in relazione con le lezioni di Ramus sulla *Meccanica* (vd. Rose/ Drake 1971, p. 99 s.; Dijksterhuis 1980, p. 317 s.; Lohr 1988, pp. 374-376; Camerota/ Helbing 2000, p. 81).

Nel *De motu tractatus* (1584) il ginevrino Michel Varro fa un diretto riferimento ad Aristotele: «Aristoteles vero, in eo quod ab ipso scriptum extat de Mechanicis fragmento, praeter suum morem, cum alioqui in omnibus exactissimum sit, hanc quaestionem potius notavit quam explicuit; in sexto et septimo Physicorum libro multa praetermisit» (ed. Camerota/ Helbing 2000, p. 246). Anche Francesco Buonamici, nel suo voluminoso trattato *De motu* (1591), introduce ampi riferimenti ad Aristotele e alle dottrine peripatetiche, esponendole e commentandole.

Il ruolo del Cardinale Bessarione, nel fare di questo revival un fenomeno prettamente italiano, sembra decisivo (vd. Rose/ Drake 1971, p. 101). Per la conoscenza e la diffusione della *Meccanica* fuori dell'Italia, vd. Rose/ Drake 1971; Laird 1986; Camerota/ Helbing 2000; Helbing 2001; Veneziani 2005; Laird/ Roux 2008; Berryman 2009. Rinvio a questi autori per il necessario completamento delle notizie e dei possibili riferimenti, di cui qui si è proposta solo una parte. Dopo Galileo, la *Meccanica* perde il primato di cui aveva goduto, ma continua a essere un'opera con cui confrontarsi fino al Settecento.

Notizia biografica

384 Aristotele nasce a Stagira. Il padre Nicomaco era medico. Anche la madre Festide proveniva da una famiglia di medici. È probabile che, essendo Nicomaco diventato medico alla corte dei Macedoni, Aristotele abbia vissuto, almeno per un certo periodo, a Pella, dove aveva sede la corte.

367 Platone si reca in Italia Meridionale e a Siracusa presso Dionigi; l'Accademia fu, nel frattempo, forse diretta da Eudosso.

367/366 Aristotele giunge ad Atene ed entra nell'Accademia, proprio nel momento in cui Platone era assente.

347 Muore Platone, e alla direzione dell'Accademia gli succede il nipote Speusippo. Aristotele lascia Atene e si reca, probabilmente, prima ad Atarneo, invitato dal tiranno Ermia, e subito dopo ad Asso, città che il tiranno aveva donato ai platonici Erasto e Corisco, per le buone leggi che gli avevano preparato, e che avevano ottenuto grande successo.

347/345 Aristotele dirige una scuola ad Asso, insieme a Senocrate, Erasto e Corisco.

345/344 Aristotele dirige una scuola a Mitilene in Lesbo, dove conosce Teofrasto e inizia una stabile collaborazione con lui.

343-342 Filippo il Macedone sceglie Aristotele come educatore del figlio Alessandro, per intercessione di Ermia.

341/340 Ermia è fatto prigioniero e ucciso dai Persiani.

340/339 Alessandro assume la reggenza, e di conseguenza interrompe i suoi studi. L'educazione impartita da Aristotele ad Alessandro dura quindi circa un triennio.

339/338 Muore Speusippo, che era succeduto a Platone nella direzione dell'Accademia. A Speusippo succede Senocrate. Con lui Aristotele aveva già interrotto i rapporti, che diventeranno sempre piu polemici.

336 Alessandro succede al padre Filippo.

335 Alessandro distrugge Tebe e consolida la propria influenza su Atene.

335/334 Aristotele, avvalendosi della situazione politica a lui favorevole, ritorna in Atene e fonda la sua nuova Scuola, il Liceo, in antitesi con l'Accademia. Dal punto di vista giuridico solo con il successore Teofrasto il Liceo verrà formalmente riconosciuto, ma di fatto già con Aristotele la Scuola funziona regolarmente.

323 Muore Alessandro Magno e in Atene ha luogo una dura reazione antimacedone.

322 A motivo dei suoi legami con Alessandro, Aristotele, per sicurezza, deve fuggire da Atene, e recarsi a Calcide, dove aveva una casa materna. Pare che gli avversari minacciassero di intentargli (nascondendo i motivi politici sotto la maschera di motivi religiosi) un processo per "empietà" (analogo a quello che avevano intentato contro Socrate).

322 (ott.) Aristotele muore a Calcide, dopo pochi mesi dal suo arrivo, all'età di sessantadue anni.

Per quanto concerne la cronologia delle opere di Aristotele non si può dire nulla con sicurezza. È possibile che alcune parti delle opere esoteriche (di Scuola) siano state composte anche già a partire dal periodo di Asso. Ma le ipotesi fatte non solo si sono rivelate mere congetture, ma anche in larga misura decettive.

Le stesse opere essoteriche pubblicate da Aristotele, che si riteneva risalissero al periodo accademico, dal punto di vista cronologico risultano in realtà problematiche. È certo in ogni caso che Aristotele le ha sempre citate e si è riconosciuto sempre in esse, senza eccezioni, il che mette in forse la tesi che le vorrebbe tutte quante opere giovanili.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΑ

ARISTOTELE
MECCANICA

847a Θαυμάζεται τῶν μὲν κατὰ φύσιν συμβαινόντων, ὅσων ἀγνοεῖται τὸ αἴτιον, τῶν δὲ παρὰ φύσιν, ὅσα γίνεται διὰ τέχνην πρὸς τὸ συμφέρον τοῖς ἀνθρώποις. ἐν πολλοῖς γὰρ ἡ φύσις ὑπεναντίον πρὸς τὸ χρήσιμον ἡμῖν ποιεῖ· ἡ μὲν
15 γὰρ φύσις ἀεὶ τὸν αὐτὸν ἔχει τρόπον καὶ ἁπλῶς, τὸ δὲ χρήσιμον μεταβάλλει πολλαχῶς. ὅταν οὖν δέῃ τι παρὰ φύσιν πρᾶξαι, διὰ τὸ χαλεπὸν ἀπορίαν παρέχει καὶ δεῖται τέχνης. διὸ καὶ καλοῦμεν τῆς τέχνης τὸ πρὸς τὰς τοιαύτας ἀπορίας βοηθοῦν μέρος μηχανήν. καθάπερ γὰρ ἐποίησεν
20 Ἀντιφῶν ὁ ποιητής, οὕτω καὶ ἔχει· τέχνῃ γὰρ κρατοῦμεν, ὧν φύσει νικώμεθα. τοιαῦτα δέ ἐστιν ἐν οἷς τά τε ἐλάττονα κρατεῖ τῶν μειζόνων, καὶ τὰ ῥοπὴν ἔχοντα μικρὰν κινεῖ βάρη μεγάλα, καὶ πάντα σχεδὸν ὅσα τῶν προβλημάτων μηχανικὰ προσαγορεύομεν. ἔστι δὲ ταῦτα τοῖς φυσικοῖς
25 προβλήμασιν οὔτε ταὐτὰ πάμπαν οὔτε κεχωρισμένα λίαν, ἀλλὰ κοινὰ τῶν τε μαθηματικῶν θεωρημάτων καὶ τῶν φυσικῶν· τὸ μὲν γὰρ ὣς διὰ τῶν μαθηματικῶν δῆλον, τὸ δὲ περὶ ὃ διὰ τῶν φυσικῶν. περιέχεται δὲ τῶν ἀπορουμέ-
847b νων ἐν τῷ γένει τούτῳ τὰ περὶ τὸν μοχλόν. ἄτοπον γὰρ εἶναι δοκεῖ τὸ κινεῖσθαι μέγα βάρος ὑπὸ μικρᾶς ἰσχύος, καὶ ταῦτα μετὰ βάρους πλείονος· ὃ γὰρ ἄνευ μοχλοῦ κινεῖν οὐ δύναταί τις, τοῦτο ταὐτὸ βάρος, προσλαβὼν ἔτι τὸ

Oggetto del nostro stupore[1] sono i fenomeni che accadono normalmente in natura[2] e di cui ignoriamo la causa[3], e i fenomeni contrari[4], dovuti ad abilità e a interventi dell'uomo per suo proprio beneficio[5]. La natura opera spesso in contrasto con il nostro vantaggio, perché il suo corso è sempre lo stesso, immutabile[6], mentre è vario e di volta in volta mutevole ciò che è utile per noi[7]. Così, quando bisogna agire violando la natura[8], la difficoltà ci imbarazza e richiede una specifica abilità[9]: quella particolare abilità che ci soccorre, davanti alle difficoltà di questo genere, noi la chiamiamo per questo *mechane*[10]. **847a**

È dunque proprio vero il detto del poeta Antifonte: «là dove siamo vinti dalla natura, prevaliamo con l'arte»[11]. Si tratta dei casi in cui, per esempio, ciò che è piccolo domina ciò che è grande, ciò che ha in sé poca forza[12] muove gravi pesi[13]: quasi sempre questi casi problematici noi li definiamo di pertinenza della *mechane*[14].

Questi problemi non sono né totalmente simili né molto diversi da quelli che riguardano la scienza naturale[15]; anzi sono comuni sia alla speculazione matematica sia a quella sulla natura[16], perché con la matematica si dimostra *il modo*, con la scienza naturale *l'ambito* in cui accadono i fenomeni[17].

Fanno parte delle difficoltà e dei dubbi di questo tipo[18] le questioni relative alla leva[19]. Certo, sembra sorprendente che un grande peso sia spostato da una piccola forza, e che questo possa accadere pur aggiungendo altro peso: quello stesso peso che non si potrebbe spostare senza leva, si può agevolmente spostare, con in più il peso della leva[20]. **847b**

15 τοῦ μοχλοῦ βάρος, κινεῖ θᾶττον. πάντων δὲ τῶν τοιούτων ἔχει τῆς αἰτίας τὴν ἀρχὴν ὁ κύκλος. καὶ τοῦτο εὐλόγως συμβέβηκεν· ἐκ μὲν γὰρ θαυμασιωτέρου συμβαίνειν τι θαυμαστὸν οὐδὲν ἄτοπον, θαυμασιώτατον δὲ τὸ τἀναντία γίνεσθαι μετ᾽ ἀλλήλων. ὁ δὲ κύκλος συνέστηκεν ἐκ τοιούτων·
20 εὐθὺς γὰρ ἐκ κινουμένου τε γεγένηται καὶ μένοντος, ὧν ἡ φύσις ἐστὶν ὑπεναντία ἀλλήλοις. ὥστ᾽ ἐνταῦθα ἔστιν ἐπιβλέψασιν ἧττον θαυμάζειν τὰς συμβαινούσας ὑπεναντιώσεις περὶ αὐτόν. πρῶτον μὲν γὰρ τῇ περιεχούσῃ γραμμῇ τὸν κύκλον, πλάτος οὐθὲν ἐχούσῃ, τἀναντία πως προσεμφαί-
25 νεται, τὸ κοῖλον καὶ τὸ κυρτόν. ταῦτα δὲ διέστηκεν ἀλλήλων ὃν τρόπον τὸ μέγα καὶ τὸ μικρόν· ἐκείνων τε γὰρ μέσον τὸ ἴσον καὶ τούτων τὸ εὐθύ. διὸ μεταβάλλοντα εἰς ἄλληλα τὰ μὲν ἀναγκαῖον ἴσα γενέσθαι πρότερον ἢ τῶν
848a ἄκρων ὁποτερονοῦν, τὴν δὲ γραμμὴν εὐθεῖαν, ὅταν ἐκ κυρτῆς εἰς κοῖλον ἢ πάλιν ἐκ ταύτης γίνηται κυρτὴ καὶ περιφερής. ἓν μὲν οὖν τοῦτο τῶν ἀτόπων ὑπάρχει περὶ τὸν κύκλον, δεύτερον δὲ ὅτι ἅμα κινεῖται τὰς ἐναντίας κινήσεις·
5 ἅμα γὰρ εἰς τὸν ἔμπροσθεν κινεῖται τόπον καὶ τὸν ὄπισθεν. ἥ τε γράφουσα γραμμὴ τὸν κύκλον ὡσαύτως ἔχει· ἐξ οὗ γὰρ ἄρχεται τόπου τὸ πέρας αὐτῆς, εἰς τὸν αὐτὸν τοῦτον τόπον ἔρχεται πάλιν· συνεχῶς γὰρ κινουμένης αὐτῆς τὸ ἔσχατον πάλιν ἀπῆλθε πρῶτον, ὥστε καὶ φανερὸν ὅτι μετέβαλεν
10 ἐντεῦθεν. διό, καθάπερ εἴρηται πρότερον, οὐδὲν ἄτοπον τὸ πάντων εἶναι τῶν θαυμάτων αὐτὸν ἀρχήν. τὰ μὲν οὖν περὶ τὸν ζυγὸν γινόμενα εἰς τὸν κύκλον ἀνάγεται, τὰ δὲ περὶ τὸν μοχλὸν εἰς τὸν ζυγόν, τὰ δ᾽ ἄλλα πάντα σχεδὸν τὰ περὶ τὰς κινήσεις τὰς μηχανικὰς εἰς τὸν μοχλόν. ἔτι δὲ
15 διὰ τὸ μιᾶς οὔσης τῆς ἐκ τοῦ κέντρου γραμμῆς μηθὲν ἕτερον ἑτέρῳ φέρεσθαι τῶν σημείων τῶν ἐν αὐτῇ ἰσοταχῶς, ἀλλ᾽ ἀεὶ τὸ τοῦ μένοντος πέρατος πορρώτερον ὂν θᾶττον, πολλὰ τῶν θαυ-

La causa prima di tutti questi fenomeni è il cerchio[21]; ed è logico che sia così, perché non è affatto strano che qualcosa di sorprendente possa derivare da ciò che è ancora più sorprendente[22]: e la cosa più sorprendente di tutte è la compresenza dei contrari[23]. Ora, su di essa si basa la struttura del cerchio che trae origine da cose di natura contraria, cioè da ciò che si muove e da ciò che rimane fermo[24]. Fatte queste considerazioni, ci si meraviglia meno delle opposizioni in esso compresenti.

La prima[25] opposizione si rende evidente nella linea che delimita il cerchio e che non ha estensione in larghezza[26]: il concavo e il convesso[27]. Questi contrari differiscono tra di loro come il grande differisce dal piccolo[28], dato che l'intermedio tra questi è l'uguale, tra quelli il diritto[29]. Perciò, se si mutano l'uno nell'altro, è necessario o che diventino uguali, prima di passare a uno dei due estremi, o che la linea diventi diritta, quando si tramuta da convessa in concava, o viceversa da concava a convessa e circolare[30]. È questo uno dei paradossi[31] del cerchio. **848a**

Il secondo è che esso si muove contemporaneamente in direzioni contrarie: si muove in avanti e indietro nello stesso tempo[32]. Così fa anche la linea che descrive il cerchio[33]: la sua estremità[34] ritorna sempre allo stesso punto da cui è partita, perché il suo continuo movimento fa sì che l'ultimo diventi via via il primo[35]; appare chiaro pertanto il cambiamento rispetto alla precedente posizione[36]. Come si è già detto, non è affatto strano che il cerchio sia la prima di tutte le meraviglie[37].

Le questioni relative alla bilancia possono essere così ricondotte a quelle che concernono il cerchio[38]; le questioni relative alla leva, al funzionamento della bilancia; mentre quasi tutte le altre questioni relative ai movimenti meccanici possono essere riferite alla leva[39]. Inoltre, molte sorprendenti caratteristiche inerenti al movimento dei cerchi, di cui si darà conto nei problemi che seguono, sono dovute al fatto che nessun punto della stessa li-

μαζομένων συμβαίνει περὶ τὰς κινήσεις τῶν κύκλων· περὶ
ὧν ἐν τοῖς ἑπομένοις προβλήμασιν ἔσται δῆλον. διὰ δὲ τὸ
20 τὰς ἐναντίας κινήσεις ἅμα κινεῖσθαι τὸν κύκλον, καὶ τὸ
μὲν ἕτερον τῆς διαμέτρου τῶν ἄκρων, ἐφ' οὗ τὸ A, εἰς τοὔμ-
προσθεν κινεῖσθαι, θάτερον δέ, ἐφ' οὗ τὸ B, εἰς τοὔπισθεν,
κατασκευάζουσί τινες ὥστ' ἀπὸ μιᾶς κινήσεως πολλοὺς ὑπε-
ναντίους ἅμα κινεῖσθαι κύκλους, ὥσπερ οὓς ἀνατιθέασιν ἐν
25 τοῖς ἱεροῖς ποιήσαντες τροχίσκους χαλκοῦς τε καὶ σιδηροῦς.
εἰ γὰρ εἴη τοῦ AB κύκλου ἁπτόμενος ἕτερος κύκλος ἐφ' οὗ
ΓΔ, τοῦ κύκλου τοῦ ἐφ' οὗ AB κινουμένης τῆς διαμέτρου
εἰς τοὔμπροσθεν, κινηθήσεται ἡ ΓΔ εἰς τοὔπισθεν τοῦ κύκλου
τοῦ ἐφ' οὗ AB, κινουμένης τῆς διαμέτρου περὶ τὸ αὐτό. εἰς
30 τοὐναντίον ἄρα κινηθήσεται ὁ ἐφ' οὗ ΓΔ κύκλος τῷ ἐφ'
οὗ τὸ AB· καὶ πάλιν αὐτὸς τὸν ἐφεξῆς, ἐφ' οὗ EZ, εἰς
τοὐναντίον αὐτῷ κινήσει διὰ τὴν αὐτὴν αἰτίαν. τὸν αὐτὸν δὲ
τρόπον κἂν πλείους ὦσι, τοῦτο ποιήσουσιν ἑνὸς μόνου κινηθέν-
τος. ταύτην οὖν λαβόντες ὑπάρχουσαν ἐν τῷ κύκλῳ τὴν
35 φύσιν οἱ δημιουργοὶ κατασκευάζουσιν ὄργανον κρύπτοντες
τὴν ἀρχήν, ὅπως ᾖ τοῦ μηχανήματος φανερὸν μόνον τὸ
θαυμαστόν, τὸ δ' αἴτιον ἄδηλον.

848b 1 Πρῶτον μὲν οὖν τὰ συμβαίνοντα περὶ τὸν ζυγὸν ἀπο-
ρεῖται, διὰ τίνα αἰτίαν ἀκριβέστερά ἐστι τὰ ζυγὰ τὰ μείζω
τῶν ἐλαττόνων. τούτου δὲ ἀρχή, διὰ τί ποτε ἐν τῷ κύκλῳ
ἡ πλεῖον ἀφεστηκυῖα γραμμὴ τοῦ κέντρου τῆς ἐγγὺς τῇ
5 αὐτῇ ἰσχύϊ κινουμένης θᾶττον φέρεται τῆς ἐλάττονος; τὸ
γὰρ θᾶττον λέγεται διχῶς· ἄν τε γὰρ ἐν ἐλάττονι χρόνῳ

nea tracciata a partire dal centro si muove[40] in essa con la stessa velocità di un altro, ma quello più distante dal centro, che rimane fisso, si muove sempre con maggiore rapidità[41].

A causa poi del fatto che il cerchio si muove contemporaneamente in direzioni contrarie[42], un'estremità del diametro, dove è A[43], si muove cioè in avanti, e l'altra, dove è B, indietro, alcuni fanno in modo che a partire da un solo movimento molti cerchi si muovano contemporaneamente in direzioni contrarie, come quelle rotelle di bronzo o di ferro fatte per essere dedicate nei templi[44].

Sia AB un cerchio e ΓΔ un altro cerchio a contatto[45] con esso: se il diametro del cerchio AB si muove in avanti, il diametro ΓΔ si muoverà indietro relativamente al cerchio AB[46], continuando il diametro a muoversi intorno allo stesso punto. Il cerchio ΓΔ si muoverà allora in direzione opposta al cerchio AB; e di nuovo per la stessa ragione, esso metterà in movimento in direzione opposta alla propria il cerchio adiacente[47] EZ. La modalità è la stessa anche nel caso che i cerchi siano molti: basta che uno solo sia messo in movimento per ottenere questo stesso risultato. Gli artigiani[48] sfruttano questa proprietà del cerchio e costruiscono uno strumento nascondendo il principio su cui il meccanismo si basa, in modo che sia visibile solo quella parte del congegno, che suscita meraviglia, ma ne sia nascosta la causa[49].

1. Ciò che accade nel caso della bilancia pone il primo quesito: per quale motivo le bilance grandi sono più precise di quelle piccole?[50] Alla base c'è una domanda: perché mai nel cerchio la parte di raggio più lunga e lontana dal centro si muove più velocemente di quella più corta, vicina al centro, anche se è messa in movimento dalla stessa forza?[51] **848b**

Ora, due possono essere i significati quando diciamo 'più veloce': qualcosa è più veloce, se copre la stessa distanza in tempo minore, oppure se nello stesso tempo

ἴσον τόπον διεξέλθῃ, θᾶττον εἶναι λέγομεν, καὶ ἐὰν ἐν ἴσῳ
πλείω. ἡ δὲ μείζων ἐν ἴσῳ χρόνῳ γράφει μείζονα κύκλον·
ὁ γὰρ ἐκτὸς μείζων τοῦ ἐντός. αἴτιον δὲ τούτων ὅτι φέρεται
10 δύο φορὰς ἡ γράφουσα τὸν κύκλον. ὅταν μὲν οὖν ἐν λόγῳ
τινὶ φέρηται, ἐπ' εὐθείας ἀνάγκη φέρεσθαι τὸ φερόμενον,
καὶ γίνεται διάμετρος αὐτὴ τοῦ σχήματος ὃ ποιοῦσιν αἱ
ἐν τούτῳ τῷ λόγῳ συντεθεῖσαι γραμμαί. ἔστω γὰρ ὁ λόγος
ὃν φέρεται τὸ φερόμενον, ὃν ἔχει ἡ ΑΒ πρὸς τὴν ΑΓ·
15 καὶ τὸ μὲν ΑΓ φερέσθω πρὸς τὸ Β, ἡ δὲ ΑΒ ὑποφερέσθω
πρὸς τὴν ΗΓ· ἐνηνέχθω δὲ τὸ μὲν Α πρὸς τὸ Δ, ἡ δὲ ἐφ'
ᾗ ΑΒ πρὸς τὸ Ε. εἰ οὖν ἐπὶ τῆς φορᾶς ὁ λόγος ἦν ὃν ἡ
ΑΒ ἔχει πρὸς τὴν ΑΓ, ἀνάγκη καὶ τὴν ΑΔ πρὸς τὴν
ΑΕ τοῦτον ἔχειν τὸν λόγον. ὅμοιον ἄρα ἐστὶ τῷ λόγῳ τὸ
20 μικρὸν τετράπλευρον τῷ μείζονι, ὥστε καὶ ἡ αὐτὴ διάμετρος
αὐτῶν, καὶ τὸ Α ἔσται πρὸς τὸ Ζ. τὸν αὐτὸν δὴ τρόπον
δειχθήσεται κἂν ὁπουοῦν διαληφθῇ ἡ φορά· αἰεὶ γὰρ
ἔσται ἐπὶ τῆς διαμέτρου. φανερὸν οὖν ὅτι τὸ κατὰ τὴν διάμετρον
φερόμενον ἐν δύο φοραῖς ἀνάγκη τὸν τῶν πλευρῶν
25 φέρεσθαι λόγον. εἰ γὰρ ἄλλον τινά, οὐκ οἰσθήσεται κατὰ
τὴν διάμετρον. ἐὰν δὲ ἐν μηδενὶ λόγῳ φέρηται δύο φορὰς
κατὰ μηδένα χρόνον, ἀδύνατον εὐθεῖαν εἶναι τὴν φοράν.
ἔστω γὰρ εὐθεῖα. τεθείσης οὖν ταύτης διαμέτρου, καὶ παραπληρωθεισῶν
τῶν πλευρῶν, ἀνάγκη τὸν τῶν πλευρῶν λόγον
30 φέρεσθαι τὸ φερόμενον· τοῦτο γὰρ δέδεικται πρότερον. οὐκ
ἄρα ποιήσει εὐθεῖαν τὸ ἐν μηδενὶ λόγῳ φερόμενον μηδένα
χρόνον. ἐὰν γάρ τινα λόγον ἐνεχθῇ ἐν χρόνῳ τινί, τοῦτον
ἀνάγκη τὸν χρόνον εὐθεῖαν εἶναι φορὰν διὰ τὰ προειρημένα.
ὥστε περιφερὲς γίνεται, δύο φερόμενον φορὰς ἐν μηθενὶ

ne copre una maggiore[52]. Nel nostro caso, il raggio più lungo descrive un cerchio più grande nello stesso tempo, perché il cerchio esterno è più grande di quello interno[53].

Il motivo di ciò sta nel fatto che il raggio che descrive il cerchio è soggetto a due movimenti[54]. Quando questi movimenti avvengono secondo un determinato rapporto, ciò che si muove procederà necessariamente in linea retta: questa linea risulta essere la diagonale della figura disegnata dalle linee tracciate secondo questo rapporto[55].

Il rapporto secondo il quale avviene il movimento sia quello tra AB e AΓ[56]. Si sposti AΓ[57] verso B, e AB in basso, verso HΓ; sia poi spostato A verso Δ, e la linea AB verso E. Allora se nel movimento il rapporto era lo stesso di quello tra AB e AΓ, anche AΔ dovrà essere in questo rapporto con AE[58]. Il piccolo parallelogramma[59] è così proporzionalmente simile a quello grande[60], con la conseguenza che la loro diagonale sarà la stessa, e A sarà in Z[61]. Il risultato della dimostrazione sarà lo stesso, in qualsiasi punto si interrompa il movimento: sarà sempre sulla diagonale[62]. È evidente allora che il punto che si sposta[63] con due movimenti[64] lungo la diagonale dovrà muoversi secondo il rapporto dei lati del parallelogramma: altrimenti, non si muoverà sulla diagonale[65].

Se invece i due movimenti non avvengono mai[66] secondo un rapporto costante, è impossibile che il moto sia rettilineo[67]. Per esemplificare, si assuma una retta[68]: tracciata questa retta come diagonale e completati i lati[69], il punto si muoverà necessariamente secondo il rapporto tra i lati: questo è stato dimostrato in precedenza[70]. In conclusione, il punto che non si muove mai secondo un rapporto costante, non formerà una linea retta. Se il movimento si realizza in un tempo determinato e con un certo rapporto, il moto dovrà di fatto essere rettilineo, durante questo periodo, per le ragioni già esposte[71]. Di conseguenza, si avrà una curva[72], se i due

35 λόγῳ μηθένα χρόνον. ὅτι μὲν τοίνυν ἡ τὸν κύκλον γράφουσα φέρεται δύο φορὰς ἅμα, φανερὸν ἔκ τε τούτων, καὶ ὅτι τὸ φερόμενον κατ᾽ εὐθεῖαν ἐπὶ τὴν κάθετον ἀφι-
849a κνεῖται, ὥστε εἶναι πάλιν αὐτὴν ἀπὸ τοῦ κέντρου κάθετον. ἔστω κύκλος ὁ ΑΒΓ, τὸ δ᾽ ἄκρον τὸ ἐφ᾽ οὗ Β φερέσθω ἐπὶ τὸ Δ· ἀφικνεῖται δέ ποτε ἐπὶ τὸ Γ. εἰ μὲν οὖν ἐν τῷ λόγῳ ἐφέρετο ὃν ἔχει ἡ ΒΔ πρὸς τὴν ΔΓ, ἐφέρετο ἂν
5 τὴν διάμετρον τὴν ἐφ᾽ ᾗ ΒΓ. νῦν δέ, ἐπείπερ ἐν οὐδενὶ λόγῳ, ἐπὶ τὴν περιφέρειαν φέρεται τὴν ἐφ᾽ ᾗ ΒΕΓ. ἐὰν δὲ δυοῖν φερομένοιν ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος τὸ μὲν ἐκκρούοιτο πλεῖον τὸ δὲ ἔλαττον, εὔλογον βραδύτερον κινηθῆναι τὸ πλεῖον ἐκκρουόμενον τοῦ ἔλαττον ἐκκρουομένου· ὃ δοκεῖ
10 συμβαίνειν ἐπὶ τῆς μείζονος καὶ ἐλάττονος τῶν ἐκ τοῦ κέντρου γραφουσῶν τοὺς κύκλους. διὰ γὰρ τὸ ἐγγύτερον εἶναι τοῦ μένοντος τῆς ἐλάττονος τὸ ἄκρον ἢ τὸ τῆς μείζονος, ὥσπερ ἀντισπώμενον εἰς τοὐναντίον ἐπὶ τὸ μέσον, βραδύτερον φέρεται τὸ τῆς ἐλάττονος ἄκρον. πάσῃ μὲν οὖν
15 κύκλον γραφούσῃ τοῦτο συμβαίνει, καὶ φέρεται τὴν μὲν κατὰ φύσιν τὴν δὲ παρὰ φύσιν κατὰ τὴν περιφέρειαν εἰς τὸ πλάγιον καὶ τὸ κέντρον. μείζω δ᾽ ἀεὶ τὴν παρὰ φύσιν ἡ ἐλάττων φέρεται· διὰ γὰρ τὸ ἐγγύτερον εἶναι τοῦ κέντρου τοῦ ἀντισπῶντος κρατεῖται μᾶλλον. ὅτι δὲ μεῖζον
20 τὸ παρὰ φύσιν κινεῖται ἡ ἐλάττων τῆς μείζονος τῶν ἐκ τοῦ κέντρου γραφουσῶν τοὺς κύκλους, ἐκ τῶνδε δῆλον. ἔστω κύκλος ἐφ᾽ οὗ ΒΓΕΔ, καὶ ἄλλος ἐν τούτῳ ἐλάττων, ἐφ᾽ οὗ ΧΝΜΞ, περὶ τὸ αὐτὸ κέντρον τὸ Α· καὶ ἐκβεβλήσθωσαν αἱ διάμετροι, ἐν μὲν τῷ μεγάλῳ, ἐφ᾽ ὧν ΓΔ
25 καὶ ΒΕ, ἐν δὲ τῷ ἐλάττονι αἱ ΜΧ ΝΞ· καὶ τὸ ἑτερόμηκες παραπεπληρώσθω, τὸ ΔΨΡΓ. εἰ δὴ ἡ ΑΒ γράφουσα κύκλον ἥξει ἐπὶ τὸ αὐτὸ ὅθεν ὡρμήθη ἐπὶ τὴν ΑΒ, δῆλον

movimenti non avvengono mai secondo un rapporto costante. Risulta chiaro da questo che la linea che descrive il cerchio ha due movimenti nello stesso tempo; inoltre il punto che si muove in linea retta[73] va a finire sulla tangente, che è così, a sua volta, perpendicolare alla linea **849a** che parte dal centro, cioè al raggio[74].

Sia ΑΒΓ un cerchio, e il punto estremo Β in alto[75] sia spostato[76] verso Δ; poi arriverà in Γ. Allora se si muovesse secondo il rapporto di ΒΔ a ΔΓ, si muoverebbe lungo la diagonale ΒΓ.[77] In questo caso, però, in cui il rapporto non sussiste, si muove lungo il tratto di circonferenza ΒΕΓ. Ora, se di due corpi messi in movimento dalla stessa forza[78] uno viene rallentato[79] di più e l'altro meno, è ragionevole pensare[80] che quello più ostacolato si muova più lentamente di quello che lo è meno. Ciò accade, con ogni evidenza, nel caso dei raggi, lunghi o corti, che descrivono i cerchi: l'estremità del raggio più piccolo si muove più lentamente, perché essa è più vicina al centro che rimane fisso[81], rispetto all'estremità del raggio più lungo, come se fosse attratta[82] in direzione contraria, verso il centro[83]. Questo si verifica in ogni raggio che descrive un cerchio: si muove lungo la circonferenza, naturalmente in direzione della tangente, innaturalmente verso il centro[84]. Sempre, poi, il raggio più corto si muove di più nella sua direzione non naturale: è maggiormente forzato, perché è più vicino al centro che lo attrae in senso opposto.

Dalla dimostrazione che segue risulta chiaro che dei raggi che descrivono i cerchi a partire da un centro, il più corto si muove in maggior misura del più lungo, nella sua direzione non naturale.

ΒΓΕΔ[85] sia un cerchio, e ΧΝΜΞ un altro più piccolo al suo interno, con lo stesso centro Α, e siano tracciati[86] i diametri ΓΔ e ΒΕ nel cerchio più grande, e ΜΧ e ΝΞ in quello più piccolo, sia poi completato il rettangolo[87] ΔΨΡΓ. Se il raggio ΑΒ che descrive il cerchio ritornerà alla stessa posizione da cui è partito, cioè ΑΒ[88], è chiaro

ὅτι φέρεται πρὸς αὐτήν. ὁμοίως δὲ καὶ ἡ ΑΧ πρὸς τὴν ΑΧ ἥξει. βραδύτερον δὲ φέρεται ἡ ΑΧ τῆς ΑΒ, ὥσπερ
30 εἴρηται, διὰ τὸ γίνεσθαι μείζονα τὴν ἔκκρουσιν καὶ ἀντισπᾶσθαι μᾶλλον τὴν ΑΧ. ἤχθω δὲ ἡ ΑΘΗ, καὶ ἀπὸ τοῦ Θ κάθετος ἐπὶ τὴν ΑΒ ἡ ΘΖ ἐν τῷ κύκλῳ, καὶ πάλιν ἀπὸ τοῦ Θ ἤχθω παρὰ τὴν ΑΒ ἡ ΘΩ, καὶ ἡ ΩΥ ἐπὶ τὴν ΑΒ κάθετος, καὶ ἡ ΗΚ. αἱ δὴ ἐφ' ὧν ΩΥ καὶ
35 ΘΖ ἴσαι. ἡ ἄρα ΒΥ ἐλάττων τῆς ΧΖ· αἱ γὰρ ἴσαι εὐθεῖαι ἐπ' ἀνίσους κύκλους ἐμβληθεῖσαι πρὸς ὀρθὰς τῇ διαμέτρῳ ἔλαττον τμῆμα ἀποτέμνουσι τῆς διαμέτρου ἐν τοῖς μείζοσι κύκλοις, ἔστι δὲ ἡ ΩΥ ἴση τῇ ΘΖ. ἐν ὅσῳ
849b δὴ χρόνῳ ἡ ΑΘ τὴν ΧΘ ἠνέχθη, ἐν τοσούτῳ χρόνῳ ἐν τῷ κύκλῳ τῷ μείζονι μείζονα τῆς ΒΩ ἐνήνεκται τὸ ἄκρον τῆς ΒΑ. ἡ μὲν γὰρ κατὰ φύσιν φορὰ ἴση, ἡ δὲ παρὰ φύσιν ἐλάττων· ἡ δὲ ΒΥ τῆς ΖΧ. δεῖ δὲ ἀνάλογον εἶναι,
5 ὡς τὸ κατὰ φύσιν πρὸς τὸ κατὰ φύσιν, τὸ παρὰ φύσιν πρὸς τὸ παρὰ φύσιν. μείζονα ἄρα περιφέρειαν διελήλυθε τὴν ΗΒ τῆς ΩΒ. ἀνάγκη δὲ τὴν ΗΒ ἐν τούτῳ τῷ χρόνῳ διεληλυθέναι· ἐνταῦθα γὰρ ἔσται, ὅταν ἀνάλογον ἀμφοτέρως συμβαίνῃ τὸ παρὰ φύσιν πρὸς τὸ κατὰ φύσιν. εἰ δὴ
10 μεῖζόν ἐστι τὸ κατὰ φύσιν ἐν τῷ μείζονι, καὶ τὸ παρὰ φύσιν μᾶλλον ἂν ἐνταῦθα συμπίπτοι μοναχῶς, ὥστε τὸ Β ἐνηνέχθαι ἂν τὴν ΒΗ ἐν ᾧ τὸ ἐφ' οὗ Χ σημεῖον τὴν ΧΘ. ἐνταῦθα γὰρ κατὰ φύσιν μὲν γίνεται τῷ Β σημείῳ τὸ ΚΗ (ἔστι γὰρ αὐτὴ ἀπὸ τοῦ Η κάθετος), παρὰ φύσιν δὲ ἐς τὸ ΚΒ. ἔστι
15 δὲ ὡς τὸ ΗΚ πρὸς τὸ ΚΒ, τὸ ΘΖ πρὸς τὸ ΖΧ. φανερὸν δὲ ἐὰν ἐπιζευχθῶσιν ἀπὸ τῶν ΒΧ ἐπὶ τὰ ΗΘ. εἰ δὲ ἐλάττων ἢ μείζων τῆς ΗΒ ἔσται, ἣν ἠνέχθη τὸ Β, οὐχ ὁμοίως

che si muove verso sé stesso. Allo stesso modo, il raggio AX arriverà nella posizione AX. Il raggio AX si muove però più lentamente di AB, come si è detto, perché la costrizione[89] è maggiore, e il raggio AX è maggiormente attratto in direzione contraria. Sia poi tracciata[90] la linea AΘH[91], e da Θ la perpendicolare, ΘZ, a AB, all'interno del cerchio; e ancora, da Θ si conduca la linea ΘΩ parallelamente a AB, e si traccino le perpendicolari a AB, cioè ΩΥ e HK[92]. Allora le linee ΩΥ e ΘZ sono uguali; pertanto la linea BΥ è più corta di XZ, perché in cerchi non uguali le rette della stessa lunghezza, tracciate perpendicolarmente[93] al diametro, ritagliano una sezione più piccola nei cerchi più grandi, e ΩΥ è uguale a ΘZ.

Ora, nello stesso tempo in cui il raggio AΘ si sposta[94] **849b** lungo l'arco XΘ, l'estremità del raggio BA[95] ha descritto un arco più grande di BΩ nel cerchio più grande, perché il movimento secondo natura è uguale, quello non naturale è minore[96]: e BΥ è una linea più corta di ZX. Ci si aspetta in ogni caso una stessa proporzione[97] tra i due movimenti naturali, e tra i due non naturali. Di fatto l'estremità del raggio[98] ha percorso il tratto HB, cioè un tratto di circonferenza più grande di ΩB. Ed è inevitabile che nel tempo considerato[99] abbia percorso l'arco HB, perché questa sarà la sua posizione, quando nei due cerchi ci sia proporzione tra il movimento non naturale e quello naturale.

Se il movimento naturale è maggiore nel cerchio più grande[100], anche per il movimento non naturale avverrà lo stesso[101], solo nel caso che[102] il punto B si sia spostato lungo l'arco BH, nello stesso tempo in cui il punto X abbia percorso il tratto XΘ[103]. In questo caso, il movimento naturale per il punto B diventa KH[104] (che è la perpendicolare condotta da H), mentre non naturale è la direzione KB[105]. Inoltre, come HK sta a KB, così ΘZ sta a ZX: questo è evidente se i punti B e X vengono collegati con H e Θ rispettivamente[106]. Ma se l'arco su cui il punto B si sposta sarà più corto o più lungo del tratto HB, il

ἔσται οὐδὲ ἀνάλογον ἐν ἀμφοῖν τὸ κατὰ φύσιν πρὸς τὸ παρὰ φύσιν. δι᾽ ἣν μὲν τοίνυν αἰτίαν ἀπὸ τῆς αὐτῆς
20 ἰσχύος φέρεται θᾶττον τὸ πλέον ἀπέχον τοῦ κέντρου σημεῖον, δῆλον διὰ τῶν εἰρημένων· διότι δὲ τὰ μὲν μείζω ζυγὰ ἀκριβέστερά ἐστι τῶν ἐλαττόνων, φανερὸν ἐκ τούτων. γίνεται γὰρ τὸ μὲν σπάρτον κέντρον (μένει γὰρ τοῦτο), τὸ δὲ ἐπὶ ἑκάτερον μέρος τῆς πλάστιγγος αἱ ἐκ τοῦ κέντρου. ἀπὸ οὖν
25 τοῦ αὐτοῦ βάρους ἀνάγκη θᾶττον κινεῖσθαι τὸ ἄκρον τῆς πλάστιγγος, ὅσῳ ἂν πλεῖον ἀπέχῃ τοῦ σπάρτου, καὶ ἔνια μὲν μὴ δῆλα εἶναι ἐν τοῖς μικροῖς ζυγοῖς πρὸς τὴν αἴσθησιν ἐπιτιθέμενα βάρη, ἐν δὲ τοῖς μεγάλοις δῆλα· οὐθὲν γὰρ κωλύει ἔλαττον κινηθῆναι μέγεθος ἢ ὥστε εἶναι τῇ ὄψει
30 φανερόν. ἐπὶ δὲ τῆς μεγάλης πλάστιγγος ποιεῖ ὁρατὸν τὸ αὐτὸ βάρος μέγεθος. ἔνια δὲ δῆλα μὲν ἐπ᾽ ἀμφοῖν ἐστίν, ἀλλὰ πολλῷ μᾶλλον ἐπὶ τῶν μειζόνων διὰ τὸ πολλῷ μεῖζον γίνεσθαι τὸ μέγεθος τῆς ῥοπῆς ὑπὸ τοῦ αὐτοῦ βάρους ἐν τοῖς μείζοσι. καὶ διὰ τοῦτο τεχνάζουσιν οἱ ἁλουρ-
35 γοπῶλαι πρὸς τὸ παρακρούεσθαι ἱστάντες, τό τε σπάρτον οὐκ ἐν μέσῳ τιθέντες, καὶ μόλυβδον τῆς φάλαγγος εἰς θάτερον μέρος ἐγχέοντες, ἢ τοῦ ξύλου τὸ πρὸς τὴν ῥίζαν πρὸς ὃ βούλονται ῥέπειν ποιοῦντες, ἢ ἐὰν ἔχῃ ὄζον· βαρύ-
850a τερον γὰρ ἐν ᾧ μέρος ἡ ῥίζα τοῦ ξύλου ἐστίν, ὁ δὲ ὄζος ῥίζα τίς ἐστιν.

2 Διὰ τί, ἐὰν μὲν ἄνωθεν ᾖ τὸ σπαρτίον, ὅταν κάτωθεν ῥέψαντος ἀφέλῃ <τις> τὸ βάρος, πάλιν ἀναφέρεται τὸ ζυγόν,
5 ἐὰν δὲ κάτωθεν ὑποστῇ, οὐκ ἀναφέρεται ἀλλὰ μένει; ἢ διότι ἄνωθεν μὲν τοῦ σπαρτίου ὄντος πλεῖον τοῦ ζυγοῦ γίνεται τὸ ἐπέκεινα τῆς καθέτου; τὸ γὰρ σπαρτίον ἐστὶ κάθετος. ὥστε ἀνάγκη ἐστὶ κάτω ῥέπειν τὸ πλέον, ἕως ἂν ἔλθῃ ἡ δίχα διαιροῦσα τὸ ζυγὸν ἐπὶ τὴν κάθετον αὐτήν, ἐπικει-

risultato non sarà lo stesso, e nemmeno il movimento naturale sarà proporzionale a quello non naturale, nei due cerchi[107].

Da quanto si è detto è chiaro il motivo per cui il punto più distante dal centro si muove più velocemente[108], pur messo in movimento dalla stessa forza[109]. Da ciò risulta anche evidente perché le bilance grandi siano più precise delle piccole[110]: la corda[111] in esse funge da centro, in quanto rimane ferma[112], e le due parti laterali della bilancia[113] fungono da raggi[114]. La parte estrema della bilancia[115] deve quindi muoversi più velocemente, sotto lo stesso peso[116], quanto più è distante dalla corda. Ancora, in alcuni casi non sarà percepibile l'aggiunta di pesi nella bilance piccole, mentre sarà evidente nelle grandi: certamente, niente impedisce che si produca uno spostamento di così modeste dimensioni da non poter essere percepito; tuttavia, su una bilancia grande lo stesso peso fa ben vedere l'ampiezza del movimento[117]. Talvolta il movimento è evidente sia nelle bilance piccole sia nelle grandi, ma molto di più nelle grandi, perché in esse è maggiore l'ampiezza dell'inclinazione[118], sotto lo stesso peso. Per questo i venditori di porpora[119] escogitano dei trucchi per imbrogliare quando pesano: mettono la corda fuori centro, versano piombo in un braccio della bilancia[120], oppure usano il legno che è vicino alla radice o nodoso, per la parte verso cui vogliono che il braccio inclini[121]. Fanno così perché presso la radice il **850a** legno è più pesante, e il nodo è una sorta di radice[122].

2. Perché la bilancia torna alla sua posizione iniziale, quando si toglie il peso mentre essa è inclinata verso il basso, se l'asse di sostegno sta sopra, e se invece sta sotto[123], la bilancia non torna alla posizione di partenza, ma rimane ferma?[124] Forse perché quando l'asse sta sopra si ha uno sbilanciamento[125] del giogo rispetto alla perpendicolare (l'asse di sostegno è una perpendicolare)? Così, deve prodursi un maggior sbilanciamento verso il basso, fino a che la linea che divide[126] in due la bilancia vada

10 μένου τοῦ βάρους ἐν τῷ ἀνεσπασμένῳ μορίῳ τοῦ ζυγοῦ.
ἔστω ζυγὸν ὀρθὸν τὸ ἐφ᾽ οὗ ΒΓ, σπαρτίον δὲ τὸ ΑΔ. ἐκ-
βαλλόμενον δὴ τοῦτο κάτω κάθετος ἔσται ἐφ᾽ ἧς ἡ ΑΔΜ.
ἐὰν οὖν ἐπὶ τὸ Β ἡ ῥοπὴ ἐπιτεθῇ, ἔσται τὸ μὲν Β οὗ τὸ Ε,
τὸ δὲ Γ οὗ τὸ Ζ, ὥστε ἡ δίχα διαιροῦσα τὸ ζυγὸν πρῶτον
15 μὲν ἦν ἡ ΔΜ τῆς καθέτου αὐτῆς, ἐπικειμένης δὲ τῆς ῥο-
πῆς ἔσται ἡ ΔΘ· ὥστε τοῦ ζυγοῦ τοῦ ἐφ᾽ ᾧ ΕΖ τὸ ἔξω τῆς κα-
θέτου τῆς ἐφ᾽ ἧς ΑΜ, τῷ ἐν ᾧ ΘΠ, μεῖζον τοῦ ἡμίσεος.
ἐὰν οὖν ἀφαιρεθῇ τὸ βάρος ἀπὸ τοῦ Ε, ἀνάγκη κάτω φέ-
ρεσθαι τὸ Ζ· ἔλαττον γάρ ἐστι τὸ Ε. ἐὰν μὲν οὖν ἄνω τὸ
20 σπαρτίον ἔχῃ, πάλιν διὰ τοῦτο ἀναφέρεται τὸ ζυγόν. ἐὰν
δὲ κάτωθεν ᾖ τὸ ὑποκείμενον, τοὐναντίον ποιεῖ· πλεῖον γὰρ
γίνεται τοῦ ἡμίσεος τοῦ ζυγοῦ τὸ κάτω μέρος ἢ ὡς ἡ κάθετος
διαιρεῖ ὥστε οὐκ ἀναφέρεται· κουφότερον γὰρ τὸ ἐπηρτη-
μένον. ἔστω ζυγὸν τὸ ἐφ᾽ οὗ ΝΞ, τὸ ὀρθόν, κάθετος δὲ ἡ
25 ΚΛΜ. δίχα δὴ διαιρεῖται τὸ ΝΞ. ἐπιτεθέντος δὲ βάρους
ἐπὶ τὸ Ν, ἔσται τὸ μὲν Ν οὗ τὸ Ο, τὸ δὲ Ξ οὗ τὸ Ρ, ἡ δὲ
ΚΛ οὗ τὸ ΛΘ, ὥστε μεῖζόν ἐστι τὸ ΚΟ τοῦ ΛΡ τῷ ΘΚΛ.
καὶ ἀφαιρεθέντος οὖν τοῦ βάρους ἀνάγκη μένειν· ἐπίκειται
γὰρ ὥσπερ βάρος ἡ ὑπεροχὴ ἡ τοῦ ἡμίσεος τοῦ ἐν ᾧ τὸ Κ.
30 3 Διὰ τί κινοῦσι μεγάλα βάρη μικραὶ δυνάμεις τῷ μο-
χλῷ, ὥσπερ ἐλέχθη καὶ κατ᾽ ἀρχήν, προσλαβόντι βάρος
ἔτι τὸ τοῦ μοχλοῦ; ῥᾷον δὲ τὸ ἔλαττόν ἐστι κινῆσαι βάρος,
ἔλαττον δέ ἐστιν ἄνευ τοῦ μοχλοῦ. ἢ ὅτι αἴτιόν ἐστιν ὁ μοχλός,
ζυγὸν ὢν κάτωθεν ἔχον τὸ σπαρτίον καὶ εἰς ἄνισα διῃρη-
35 μένον; τὸ γὰρ ὑπομόχλιον ἀντὶ σπαρτίου γίνεται· μένει
γὰρ ἄμφω ταῦτα, ὥσπερ τὸ κέντρον. ἐπεὶ δὲ θᾶττον ὑπὸ
τοῦ ἴσου βάρους κινεῖται ἡ μείζων τῶν ἐκ τοῦ κέντρου, ἔστι δὲ
τρία τὰ περὶ τὸν μοχλόν, τὸ μὲν ὑπομόχλιον, σπάρτον

esattamente a coincidere con la perpendicolare, posto il peso sulla parte sollevata della bilancia.

Sia ΒΓ una bilancia in equilibrio[127] e l'asse sia ΑΔ. Se esso è prolungato in basso, la perpendicolare sarà ΑΔΜ. Ora, se il peso è messo su Β, Β sarà nella posizione Ε, e Γ nella posizione Ζ, così che la linea che divide la bilancia in due, in un primo momento è il tratto di perpendicolare ΔΜ, quando si mette il peso sarà invece ΔΘ. Di conseguenza, ciò che della bilancia nella posizione ΕΖ[128] è fuori della perpendicolare ΑΜ[129] sarà la sua metà più il tratto ΘΠ[130]. Allora, se si toglie il peso da Ε, Ζ si abbassa necessariamente, perché Ε è più corto.

In conclusione, se l'asse sta sopra, la bilancia ritorna nella sua posizione per il motivo esposto. Se invece sta sotto, si ha il risultato opposto, perché la parte abbassata della bilancia è maggiore della metà, rispetto alla sezione ottenuta con la perpendicolare, così non si solleva in quanto la parte alzata è più leggera.

Sia ΝΞ la bilancia[131], in posizione di equilibrio, ΚΛΜ la perpendicolare: ΝΞ è così diviso in due. Se si mette un peso in Ν, Ν sarà nella posizione Ο, Ξ nella posizione Ρ, e ΚΛ dove è ΛΘ. Di conseguenza ΚΟ è più grande di ΛΡ, della misura di ΘΚΛ. Ora, anche se si toglie il peso, la bilancia deve rimanere ferma, perché la parte eccedente la metà che è in Κ, fa da peso[132].

3. Perché con l'aiuto della leva forze di debole entità spostano grandi pesi, come si è detto anche all'inizio, nonostante vi si aggiunga il peso della leva stessa?[133] Di certo, quanto minore è un peso, tanto più è facile spostarlo, e senza leva è in ogni caso minore[134]. Ne è forse causa la leva, che si comporta[135] come una bilancia che abbia l'asse sotto e che è divisa in parti non uguali? C'è di fatto corrispondenza tra il fulcro e l'asse: entrambi stanno fissi, come sta fisso il centro[136]. Ora, considerando il centro da cui parte, il raggio più lungo si muove più velocemente[137], sotto la spinta di un peso uguale; inoltre, tre sono gli elementi della leva: il fulcro, asse o

καὶ κέντρον, δύο δὲ βάρη, ὅ τε κινῶν καὶ τὸ κινούμενον· ὃ
850b οὖν τὸ κινούμενον βάρος πρὸς τὸ κινοῦν, τὸ μῆκος πρὸς τὸ μῆ-
κος ἀντιπέπονθεν. αἰεὶ δὲ ὅσῳ ἂν μεῖζον ἀφεστήκῃ τοῦ ὑπο-
μοχλίου, ῥᾷον κινήσει. αἰτία δέ ἐστιν ἡ προλεχθεῖσα, ὅτι ἡ
πλεῖον ἀπέχουσα ἐκ τοῦ κέντρου μείζονα κύκλον γράφει. ὥστε
5 ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος πλέον μεταστήσεται τὸ κινοῦν τὸ
πλεῖον τοῦ ὑπομοχλίου ἀπέχον. ἔστω μοχλὸς ἐφ' οὗ ΑΒ,
βάρος δὲ ἐφ' ᾧ τὸ Γ, τὸ δὲ κινοῦν ἐφ' ᾧ τὸ Δ, ὑπομόχλιον
ἐφ' ᾧ τὸ Ε, τὸ δὲ ἐφ' ᾧ τὸ Δ κινῆσαν ἐφ' ᾧ τὸ Η, κι-
νούμενον δὲ τὸ ἐφ' οὗ Γ, βάρος, ἐφ' οὗ Κ.

10 4 Διὰ τί οἱ μεσόνεοι μάλιστα τὴν ναῦν κινοῦσιν; ἢ διότι
ἡ κώπη μοχλός ἐστιν; ὑπομόχλιον μὲν γὰρ ὁ σκαλμὸς γί-
νεται (μένει γὰρ δὴ τοῦτο), τὸ δὲ βάρος ἡ θάλαττα, ἣν
ἀπωθεῖ ἡ κώπη· ὁ δὲ κινῶν τὸν μοχλὸν ὁ ναύτης ἐστίν.
ἀεὶ δὲ πλέον βάρος κινεῖ, ὅσῳ ἂν πλέον ἀφεστήκῃ τοῦ ὑπο-
15 μοχλίου ὁ κινῶν τὸ βάρος· μείζων γὰρ οὕτω γίνεται ἡ ἐκ
τοῦ κέντρου, ὁ δὲ σκαλμὸς ὑπομόχλιον ὢν κέντρον ἐστίν. ἐν
μέσῃ δὲ τῇ νηῒ πλεῖστον τῆς κώπης ἐντός ἐστιν· καὶ γὰρ ἡ
ναῦς ταύτῃ εὐρυτάτη ἐστίν, ὥστε πλεῖον ἐπ' ἀμφότερα ἐν-
δέχεσθαι μέρος τῆς κώπης ἑκατέρου τοίχου ἐντὸς εἶναι τῆς
20 νεώς. κινεῖται μὲν οὖν ἡ ναῦς διὰ τὸ ἀπερειδομένης τῆς κώ-
πης εἰς τὴν θάλασσαν τὸ ἄκρον τῆς κώπης τὸ ἐντὸς προϊέναι
εἰς τὸ πρόσθεν, τὴν δὲ ναῦν προσδεδεμένην τῷ σκαλμῷ συμ-
προϊέναι, ᾗ τὸ ἄκρον τῆς κώπης. ᾗ γὰρ πλείστην θάλασσαν
διαιρεῖ ἡ κώπη, ταύτῃ ἀνάγκη μάλιστα προωθεῖσθαι· πλεί-
25 στην δὲ διαιρεῖ ᾗ πλεῖστον μέρος ἀπὸ τοῦ σκαλμοῦ τῆς κώπης
ἐστίν. διὰ τοῦτο οἱ μεσόνεοι μάλιστα κινοῦσιν· μέγιστον γὰρ
ἐν μέσῃ νηῒ τὸ ἀπὸ τοῦ σκαλμοῦ τῆς κώπης τὸ ἐντός ἐστιν.

5 Διὰ τί τὸ πηδάλιον μικρὸν ὄν, καὶ ἐπ' ἐσχάτῳ τῷ
πλοίῳ, τοσαύτην δύναμιν ἔχει ὥστε ὑπὸ μικροῦ οἴακος καὶ

centro[138], e i due pesi, uno che causa il movimento e un altro che viene mosso[139]. Così, il rapporto tra il peso **850b** mosso e quello che lo muove è inverso al rapporto tra le rispettive distanze dal centro[140]: in ogni caso, quanto più è grande la distanza dal fulcro, tanto più facile sarà il movimento[141]. La causa è quella già esposta: il raggio che più dista dal centro descrive un cerchio più grande. Perciò a una maggiore distanza del motore[142] dal fulcro, corrisponde un maggiore spostamento, anche se la forza applicata è la stessa.

Sia AB la leva[143], Γ il peso, Δ la forza che agisce, E il fulcro; Δ, con il movimento che imprime, raggiunge H, e Γ, il peso che viene spostato, raggiunge K[144].

4. Perché i rematori di centro esercitano una spinta maggiore sulla nave? Forse perché il remo è una leva?[145] Lo scalmo fa da fulcro, in quanto rimane fermo; l'acqua del mare, che il remo batte e sposta, fa da peso; chi mette in movimento la leva è il rematore[146]. Più è distante dal fulcro chi mette in movimento il peso, e maggiore è il carico che sposta[147], perché così il raggio è più lungo, e lo scalmo, che fa da fulcro, è un centro[148]. In mezzo alla nave, la parte più lunga del remo si trova all'interno: qui essa è più larga, così che la maggior parte del remo può star dentro le due fiancate della nave, da entrambe le parti.

La nave dunque si muove perché l'impugnatura del remo, che è dentro la nave, si sposta in avanti, quando il remo fa forza sull'acqua, e la nave, collegata allo scalmo, va avanti anch'essa nella direzione dell'impugnatura del remo: la spinta che subisce è necessariamente maggiore dove maggiore è la quantità d'acqua spostata dal remo: e ne sposta di più là dove è massima la parte del remo che è più lontana dallo scalmo. Per questo i rematori di centro spingono di più la nave: in mezzo alla nave, la lunghezza del remo all'interno, a partire dallo scalmo, è maggiore[149].

5. Perché il timone, che è piccolo e che si trova nella parte estrema della nave, ha una forza tale che navi mol-

30 ἑνὸς ἀνθρώπου δυνάμεως, καὶ ταύτης ἠρεμαίας, μεγάλα κι-
νεῖσθαι μεγέθη πλοίων; ἢ διότι καὶ τὸ πηδάλιόν ἐστι μο-
χλός, καὶ μοχλεύει ὁ κυβερνήτης. ᾗ μὲν οὖν προσήρμοσται
τῷ πλοίῳ, γίνεται ὑπομόχλιον, τὸ δὲ ὅλον πηδάλιον ὁ
μοχλός, τὸ δὲ βάρος ἡ θάλασσα, ὁ δὲ κυβερνήτης ὁ κινῶν.
35 οὐ κατὰ πλάτος δὲ λαμβάνει τὴν θάλασσαν, ὥσπερ ἡ κώπη,
τὸ πηδάλιον. οὐ γὰρ εἰς τὸ πρόσθεν κινεῖ τὸ πλοῖον, ἀλλὰ
κινούμενον κλίνει, πλαγίως τὴν θάλατταν δεχόμενον. ἐπεὶ
γὰρ τὸ βάρος ἦν ἡ θάλασσα, τοὐναντίον ἀπερειδόμενον κλί-
νει τὸ πλοῖον. τὸ γὰρ ὑπομόχλιον εἰς τοὐναντίον στρέφεται,
851a ἡ θάλασσα μὲν εἰς τὸ ἐντός· ἐκεῖνο δὲ εἰς τὸ ἐκτός. τούτῳ δὲ ἀκο-
λουθεῖ τὸ πλοῖον διὰ τὸ συνδεδέσθαι. ἡ μὲν οὖν κώπη κατὰ
πλάτος τὸ βάρος ὠθοῦσα καὶ ὑπ᾽ ἐκείνου ἀντωθουμένη εἰς τὸ
εὐθὺ προάγει· τὸ δὲ πηδάλιον, ὥσπερ κάθηται πλάγιον,
5 τὴν εἰς τὸ πλάγιον, ἢ δεῦρο ἢ ἐκεῖ, ποιεῖ κίνησιν. ἐπ᾽ ἄκρου
δὲ καὶ οὐκ ἐν μέσῳ κεῖται, ὅτι ῥᾷστον τὸ κινούμενον κινῆσαι
ἀπ᾽ ἄκρου κινοῦν. τάχιστα γὰρ φέρεται τὸ πρῶτον μέρος
διὰ τὸ ὥσπερ ἐν τοῖς φερομένοις ἐπὶ τέλει λήγειν τὴν φο-
ράν, οὕτω καὶ τοῦ συνεχοῦς ἐπὶ τέλους ἀσθενεστάτη ἐστὶν ἡ φορά.
10 εἰ δὲ ἀσθενεστάτη, ῥᾳδία ἐκκρούειν. διά τε δὴ ταῦτα ἐν τῇ
πρύμνῃ τὸ πηδάλιόν ἐστι, καὶ ὅτι ἐνταῦθα μικρᾶς κινήσεως
γενομένης πολλῷ μεῖζον τὸ διάστημα ἐπὶ τῷ ἐσχάτῳ γίνε-
ται, διὰ τὸ τὴν ἴσην γωνίαν ἐπὶ μείζονα καθῆσθαι, καὶ ὅσῳ
ἂν μείζους ὦσιν αἱ περιέχουσαι. δῆλον δὲ ἐκ τούτου καὶ δι᾽ ἣν
15 αἰτίαν μᾶλλον προέρχεται εἰς τοὐναντίον τὸ πλοῖον ἢ ἡ τῆς
κώπης πλάτη· τὸ αὐτὸ γὰρ μέγεθος τῇ αὐτῇ ἰσχύϊ κινού-
μενον ἐν ἀέρι πλέον ἢ ἐν τῷ ὕδατι πρόεισιν. ἔστω γὰρ ἡ Α
Β κώπη, τὸ δὲ Γ ὁ σκαλμός, τὸ δὲ Α τὸ ἐν τῷ πλοίῳ, ἡ

to grandi si muovono sotto il governo di una piccola barra e della forza, e per di più modesta, di un solo uomo?[150] Forse perché il timone è una leva, e il timoniere la mette in azione. Il fulcro è quindi costituito dal punto in cui il timone è attaccato alla nave, l'intero timone fa da leva, l'acqua del mare è il peso, il timoniere è colui che esercita la forza[151].

Il timone non fa presa di piatto sull'acqua[152], come fa il remo, perché non spinge la nave in avanti, ma la fa girare, quando essa è già in movimento, prendendo l'acqua in senso obliquo[153]. Poiché l'acqua, si è detto, è il peso, fa voltare la nave con una spinta in senso contrario: il fulcro gira in senso contrario all'acqua, cioè verso **851a** l'esterno, mentre l'acqua gira verso l'interno[154]; la nave segue il fulcro – il timone – perché vi è attaccata.

Il remo spinge il peso di piatto e ne riceve a sua volta una controspinta, così manda avanti e diritta la nave; il timone, che è in posizione obliqua, causa invece un movimento obliquo, o da una parte o dall'altra. Il timone si trova inoltre a un'estremità e non nel mezzo della nave, perché agendo all'estremità è molto più facile muovere ciò che deve essere mosso: la parte che sta davanti si muove nel modo più agevole, dato che il moto cessa alla fine, come in tutti i corpi in movimento; così anche in un corpo continuo, il moto è molto più debole alla fine, e se è più debole, è più facile deviarne la direzione[155]. Proprio per questi motivi il timone è a poppa, e anche perché lì si ha un piccolo movimento, che determina tuttavia uno spostamento molto più ampio all'estremità, perché lo stesso angolo insiste su una base maggiore, in relazione alla maggiore lunghezza delle linee che lo delimitano[156]. Da tutto ciò è chiaro anche il motivo per cui la nave avanza di più in direzione contraria, rispetto alla pala del remo, perché la stessa massa spinta dalla stessa forza avanza maggiormente nell'aria che nell'acqua[157].

Sia AB il remo[158], Γ lo scalmo; il punto A sta nell'imbarcazione, e rappresenta l'impugnatura del remo, il

ἀρχὴ τῆς κώπης, τὸ δὲ Β τὸ ἐν τῇ θαλάττῃ. εἰ δὴ τὸ Α
20 οὗ τὸ Δ μετακεκίνηται, τὸ Β οὐκ ἔσται οὗ τὸ Ε· ἴση γὰρ ἡ Β
Ε τῇ ΑΔ. ἴσον οὖν μετακεχωρηκὸς ἔσται. ἀλλ᾽ ἦν ἔλαττον.
ἔσται δὴ οὗ τὸ Ζ. τὸ Θ ἄρα τέμνει τὴν ΑΒ, καὶ οὐχ ᾗ τὸ
Γ, καὶ κάτωθεν. ἐλάττων γὰρ ἡ ΒΖ τῆς ΑΔ, ὥστε καὶ
ἡ ΘΖ τῆς ΔΘ· ὅμοια γὰρ τὰ τρίγωνα. μεθεστηκὸς δὲ
25 ἔσται καὶ τὸ μέσον, τὸ ἐφ᾽ οὗ Γ· εἰς τοὐναντίον γὰρ τῷ ἐν τῇ
θαλάττῃ ἄκρῳ τῷ Β μεταχωρεῖ, ᾗπερ τὸ ἐν τῷ πλοίῳ
ἄκρον τὸ Α, μετεχώρει δὲ τὸ Α οὗ τὸ Δ. ὥστε μετακινηθήσεται τὸ
πλοῖον, καὶ ἐκεῖ οὗ ἡ ἀρχὴ τῆς κώπης μεταφέρεται. τὸ δ᾽
αὐτὸ καὶ τὸ πηδάλιον ποιεῖ, πλὴν ὅτι εἰς τὸ πρόσθεν οὐδὲν
30 συμβάλλεται τῷ πλοίῳ, ὥσπερ ἐλέχθη ἐπὶ ἄνω, ἀλλὰ
μόνον τὴν πρύμναν εἰς τὸ πλάγιον ἀπωθεῖ ἔνθα ἢ ἔνθα· εἰς
τοὐναντίον γὰρ ἡ πρῷρα οὕτω νεύει. ᾗ μὲν δὴ τὸ πηδάλιον
προσέζευκται, δεῖ οἷόν τι τοῦ κινουμένου μέσον νοεῖν, καὶ ὥσπερ
ὁ σκαλμὸς τῇ κώπῃ· τὸ δὲ μέσον ὑποχωρεῖ, ᾗ ὁ οἴαξ με-
35 τακινεῖται. ἐὰν μὲν εἴσω ἄγῃ, καὶ ἡ πρύμνα δεῦρο μεθέ-
στηκεν· ἡ δὲ πρῷρα εἰς τοὐναντίον νεύει· ἐν γὰρ τῷ αὐτῷ
οὔσης τῆς πρῴρας τὸ πλοῖον μεθέστηκεν ὅλον.

6 Διὰ τί, ὅσῳ ἂν ἡ κεραία ἀνωτέρα ᾖ, θᾶττον πλεῖ τὰ
πλοῖα τῷ αὐτῷ ἱστίῳ καὶ τῷ αὐτῷ πνεύματι; ἢ διότι γίνε-
40 ται ὁ μὲν ἱστὸς μοχλός, ὑπομόχλιον δὲ τὸ ἑδώλιον ἐν ᾧ
851b ἐμπέπηγεν, ὃ δὲ δεῖ κινεῖν βάρος, τὸ πλοῖον, τὸ δὲ κινοῦν
τὸ ἐν τῷ ἱστίῳ πνεῦμα. εἰ δ᾽ ὅσῳ ἂν πορρώτερον ᾖ τὸ ὑπο-
μόχλιον, ῥᾷον κινεῖ καὶ θᾶττον ἡ αὐτὴ δύναμις τὸ αὐτὸ
βάρος, ἡ οὖν κεραία ἀνώτερον ἀγομένη καὶ τὸ ἱστίον πορ-
5 ρώτερον ποιεῖ τοῦ ἑδωλίου ὑπομοχλίου ὄντος.

7 Διὰ τί, ὅταν ἐξ οὐρίας βούλωνται διαδραμεῖν μὴ οὐρίου
τοῦ πνεύματος ὄντος, τὸ μὲν πρὸς τὸν κυβερνήτην τοῦ ἱστίου

punto B sta in acqua. Se A cambia posizione e si trova in Δ, B non starà dove è E, perché il tratto BE è uguale a AΔ, e B si sarebbe allora spostato come A; in realtà si è spostato di meno. B sarà allora in Z[159]. Il punto Θ taglia la linea AB, ma sotto, e non dove[160] è Γ: BZ è minore di AΔ, perciò anche ΘZ sarà minore di ΔΘ, perché i triangoli sono simili. Anche il centro, cioè Γ, risulterà poi spostato[161], perché si muove in una direzione contraria all'estremità B, che è in acqua, e nella stessa direzione del punto estremo A, che è nell'imbarcazione; e A passa nel punto Δ[162]. Così, la nave avrà cambiato la propria posizione, per spostarsi nella direzione dell'impugnatura del remo. La stessa cosa fa il timone, eccetto che, come si è detto sopra, non contribuisce affatto al movimento in avanti della nave, ma si limita a far inclinare la poppa e a spingerla da una parte o dall'altra: così, la prua si volge nella posizione contraria. Di fatto, il punto in cui il timone è attaccato bisogna considerarlo il centro della massa in movimento, e corrispondente allo scalmo nel caso del remo; ma la parte mediana della nave si muove nella direzione in cui si sposta la barra. Se si porta la barra[163] all'interno, anche la poppa va in quella direzione, e la prua si volge in direzione contraria: mentre la prua rimane nella stessa posizione, cambia invece la posizione dell'intera imbarcazione[164].

6. Perché le navi, a parità di velatura e di vento, si muovono più velocemente quanto più alto è il pennone? Forse perché l'albero fa da leva, il fulcro è costituito dalla base[165] in cui esso è fissato, il peso che deve essere **851b** spostato è la nave[166], e il propulsore è il vento che soffia nelle vele? Se è vero che la stessa forza mette più facilmente e più rapidamente in movimento lo stesso peso, in proporzione alla maggiore distanza del fulcro[167], allora il pennone issato più in alto allontana la vela dalla base che costituisce il fulcro[168].

7. Perché, se si vuole navigare prosperamente[169], anche se le condizioni di vento non sono favorevoli, si imbro-

μέρος στέλλονται, τὸ δὲ πρὸς τὴν πρῷραν ποδιαῖον ποιησάμενοι ἐφιᾶσιν; ἢ διότι ἀντισπᾶν τὸ πηδάλιον πολλῷ μὲν
10 ὄντι τῷ πνεύματι οὐ δύναται, ὀλίγῳ δέ, ὃ ὑποστέλλονται. προάγει μὲν οὖν τὸ πνεῦμα, εἰς οὔριον δὲ καθίστησι τὸ πηδάλιον, ἀντισπῶν καὶ μοχλεῦον τὴν θάλατταν. ἅμα δὲ καὶ οἱ ναῦται μάχονται τῷ πνεύματι· ἀνακλίνουσι γὰρ ἐπὶ τὸ ἐναντίον ἑαυτούς.

15 8 Διὰ τί τὰ στρογγύλα καὶ περιφερῆ τῶν σχημάτων εὐκινητότερα; τριχῶς δὲ ἐνδέχεται τὸν κύκλον κυλισθῆναι· ἢ γὰρ κατὰ τὴν ἁψῖδα, συμμεταβάλλοντος τοῦ κέντρου, ὥσπερ ὁ τροχὸς ὁ τῆς ἁμάξης κυλίεται· ἢ περὶ τὸ κέντρον μόνον, ὥσπερ αἱ τροχιλέαι, τοῦ κέντρου μένοντος· ἢ παρὰ
20 τὸ ἐπίπεδον, τοῦ κέντρου μένοντος, ὥσπερ ὁ κεραμεικὸς τροχὸς κυλίνδεται. εἰ μὲν δὴ τάχιστα τὰ τοιαῦτα, διά τε τὸ μικρῷ ἅπτεσθαι τοῦ ἐπιπέδου, ὥσπερ ὁ κύκλος κατὰ στιγμήν, καὶ διὰ τὸ μὴ προσκόπτειν· ἀφέστηκε γὰρ τῆς γῆς ἡ γωνία. καὶ ἔτι ᾧ ἂν ἀπαντήσῃ σώματι, πάλιν τούτου
25 κατὰ μικρὸν ἅπτεται. εἰ δ' εὐθύγραμμον ἦν, τῇ εὐθείᾳ ἐπὶ πολὺ ἥπτετο ἂν τοῦ ἐπιπέδου. ἔτι ᾗ ῥέπει ἐπὶ τὸ βάρος, ταύτῃ κινεῖ ὁ κινῶν. ὅταν μὲν γὰρ πρὸς ὄρθιον ἡ διάμετρος ᾖ τοῦ κύκλου τῷ ἐπιπέδῳ, ἁπτομένου τοῦ κύκλου κατὰ στιγμὴν τοῦ ἐπιπέδου, ἴσον τὸ βάρος ἐπ' ἀμφότερα διαλαμ-
30 βάνει ἡ διάμετρος· ὅταν δὲ κινῆται, εὐθὺς πλέον ἐφ' ᾧ κινεῖται, ὥσπερ ῥέπον. ἐντεῦθεν εὐκινητότερον τῷ ὠθοῦντι εἰς τοὔμπροσθεν· ἐφ' ὃ γὰρ ῥέπει ἕκαστον, εὐκίνητόν ἐστιν, εἴπερ καὶ τὸ ἐπὶ τὸ ἐναντίον τῆς ῥοπῆς δυσκίνητον. ἔτι λέ-

glia una parte della vela verso il timoniere, e si lasca invece con la scotta l'altra parte, verso la prua? Forse il motivo per cui si riducono[170] le vele è che, in presenza di molto vento, il timone non può contrastarne la direzione, cosa che invece è possibile se il vento è poco? In questo modo è il vento a spingere la nave avanti, ed è il timone a trasformarlo in vento favorevole[171], contrastandone l'azione e facendo leva sull'acqua. Contemporaneamente anche i marinai lottano con il vento, gravando con il loro peso dalla parte opposta[172].

8. Perché le figure tondeggianti e circolari si muovono con più facilità?[173] Il cerchio può girare in tre modi: o lungo la sua circonferenza, e allora il centro si muove contemporaneamente, proprio come gira la ruota del carro; oppure solo attorno al centro, che rimane fermo, come nel caso delle pulegge; oppure parallelamente al piano, mentre il centro rimane fermo, cioè come gira la ruota del vasaio[174]. La grande velocità di movimento di queste forme è dovuta sia al fatto che hanno solo un limitato contatto con la superficie (il cerchio per esempio ha contatto in un solo punto), sia alla mancanza di attrito, dato che l'angolo[175] resta scostato dal piano. Inoltre, se vengono a contatto con un corpo, anche in questo caso la superficie di contatto sarà piccola. Se invece si trattasse di una figura a linee rette[176] il contatto della linea con il piano sarebbe più esteso. Ancora, chi muove figure tonde, le mette in movimento nella stessa direzione verso cui il loro peso le fa tendere. Quando il diametro del cerchio è perpendicolare[177] al piano, il cerchio lo tocca in un punto, così il diametro suddivide il peso in modo uguale da una parte e dall'altra. Ma quando si muove, il peso è subito maggiore dalla parte verso cui si muove, come se tendesse da quella parte. Allora è più facile spingerlo in avanti, perché ciascun corpo si muove più facilmente nella direzione in cui tende, così come è vero che si muove con più difficoltà dalla parte opposta alla sua inclinazione naturale[178].

γουσί τινες ὅτι καὶ ἡ γραμμὴ ἡ τοῦ κύκλου ἐν φορᾷ ἐστὶν
35 ἀεί, ὥσπερ τὰ μένοντα, διὰ τὸ ἀντερείδειν, οἷον καὶ τοῖς
μείζοσι κύκλοις ὑπάρχει πρὸς τοὺς ἐλάττονας. θᾶττον γὰρ
ὑπὸ τῆς ἴσης ἰσχύος κινοῦνται οἱ μείζους καὶ τὰ βάρη κι-
νοῦσι, διὰ τὸ ῥοπήν τινα ἔχειν τὴν γωνίαν τὴν τοῦ μείζονος
κύκλου πρὸς τὴν τοῦ ἐλάττονος, καὶ εἶναι ὅπερ ἡ διάμετρος
40 πρὸς τὴν διάμετρον. ἀλλὰ μὴν πᾶς κύκλος μείζων πρὸς
852a ἐλάττονα· ἄπειροι γὰρ οἱ ἐλάττονες. εἰ δὲ καὶ πρὸς ἕτερον
ἔχει ῥοπὴν ὁ κύκλος, ὁμοίως δὲ εὐκίνητος, καὶ ἄλλην ἂν
ἔχοι ῥοπὴν ὁ κύκλος καὶ τὰ ὑπὸ κύκλου κινούμενα, κἂν μὴ
τῇ ἁψῖδι ἅπτηται τοῦ ἐπιπέδου, ἀλλ' ἢ παρὰ τὸ ἐπίπεδον,
5 ἢ ὡς αἱ τροχιλέαι· καὶ γὰρ οὕτως ἔχοντα ῥᾷστα κινοῦνται
καὶ κινοῦσι τὸ βάρος. ἢ οὐ τῷ κατὰ μικρὸν ἅπτεσθαι καὶ
προσκρούειν, ἀλλὰ δι' ἄλλην αἰτίαν. αὕτη δέ ἐστιν ἡ εἰρη-
μένη πρότερον, ὅτι ἐκ δύο φορῶν γεγένηται ὁ κύκλος, ὥστε
μίαν αὐτῶν αἰεὶ ἔχειν ῥοπήν, καὶ οἷον φερόμενον αὐτὸν
10 αἰεὶ κινοῦσιν οἱ κινοῦντες, ὅταν κινῶσι κατὰ τὴν περιφέρειαν
ὁπωσοῦν. φερομένην γὰρ αὐτὴν κινοῦσιν· τὴν μὲν γὰρ εἰς
τὸ πλάγιον αὐτοῦ κίνησιν ὠθεῖ τὸ κινοῦν, τὴν δὲ ἐπὶ τῆς
διαμέτρου αὐτὸς κινεῖται.

9 Διὰ τί τὰ διὰ τῶν μειζόνων κύκλων αἰρόμενα καὶ
15 ἑλκόμενα ῥᾷον καὶ θᾶττον κινοῦμεν; οἷον καὶ αἱ τροχιλέαι
αἱ μείζους τῶν ἐλαττόνων, καὶ αἱ σκυτάλαι ὁμοίως. ἢ

Alcuni dicono poi che la circonferenza del cerchio è sempre in movimento, proprio come i corpi fermi rimangono sempre tali per la resistenza che oppongono[179]. Ne sono un esempio i cerchi grandi in confronto con i piccoli: per effetto della stessa forza, i grandi si muovono più velocemente e spostano corpi pesanti, perché l'angolo del cerchio più grande, in confronto con quello del più piccolo, comporta una certa propensione al moto, ed è nello stesso rapporto dei due diametri tra di loro[180]. In realtà, esiste sempre un cerchio maggiore rispetto a uno minore, perché possono essere descritti **852a** infiniti cerchi sempre più piccoli.

Ora, se è vero che un cerchio ha una certa propensione al moto in confronto a un altro, e in misura corrispondente si muove con facilità, il cerchio e i corpi da esso messi in movimento potrebbero avere anche un'altra propensione: si tratta del caso in cui il cerchio non tocchi il piano con la sua circonferenza, ma si muova parallelamente al piano, o come le pulegge: in queste posizioni i cerchi si muovono e mettono in movimento il corpo pesante con molta facilità. La causa può essere però diversa e non essere in relazione con la piccola superficie di contatto o di attrito; la causa è piuttosto quella esposta in precedenza: il cerchio si origina da due movimenti, in modo però che solo uno di essi comporti sempre una propensione al moto; chi poi lo mette in movimento, agendo in un punto qualunque della circonferenza, fa muovere il cerchio di un moto che esso in un certo senso ha già, perché mette in movimento la circonferenza che si muove di per sé: la forza che imprime il moto dà avvio al movimento nella direzione della tangente, ma il cerchio ha un movimento proprio secondo il diametro[181].

9. Perché possiamo muovere con più facilità e rapidità oggetti sollevati o trascinati con l'aiuto di cerchi più grandi?[182] Per esempio, le pulegge più grandi sono più efficaci delle piccole, e lo stesso vale per i rulli[183]. Forse

διότι ὅσῳ ἂν μείζων ἡ ἐκ τοῦ κέντρου ᾖ, ἐν τῷ ἴσῳ χρόνῳ πλέον κινεῖται χωρίον, ὥστε καὶ τοῦ ἴσου βάρους ἐπόντος ποιήσει τὸ αὐτό, ὥσπερ εἴπομεν καὶ τὰ μείζω ζυγὰ τῶν
20 ἐλαττόνων ἀκριβέστερα εἶναι. τὸ μὲν γὰρ σπαρτίον ἐστὶ κέντρον, τοῦ δὲ ζυγοῦ αἱ ἐπὶ τάδε τοῦ σπαρτίου αἱ ἐκ τοῦ κέντρου.

10 Διὰ τί ῥᾷον, ὅταν ἄνευ βάρους ᾖ, κινεῖται τὸ ζυγόν, ἢ ἔχον βάρος; ὁμοίως δὲ καὶ τροχὸς ἢ ἄλλο τοιοῦτο τοῦ
25 βαρυτέρου μὲν μείζονος δὲ τὸ ἔλαττον καὶ κουφότερον. ἢ ὅτι οὐ μόνον εἰς τοὐναντίον τὸ βαρύ, ἀλλὰ καὶ εἰς τὸ πλάγιον δυσκίνητόν ἐστιν. ἐναντίον γὰρ τῇ ῥοπῇ κινῆσαι χαλεπῶς, ἐφ᾽ ὃ δὲ ῥέπει, ῥᾳδίως· εἰς δὲ τὸ πλάγιον οὐ ῥέπει.

11 Διὰ τί ἐπὶ τῶν σκυτάλων ῥᾷον τὰ φορτία κομίζεται
30 ἢ ἐπὶ τῶν ἁμαξῶν, ἐχουσῶν τῶν μὲν μεγάλους τροχούς, τῶν δὲ μικρούς; ἢ διότι ἐπὶ τῶν σκυτάλων οὐδεμίαν ἔχει πρόσκοψιν, τὸ δὲ ἐπὶ τῶν ἁμαξῶν τὸν ἄξονα, καὶ προσκόπτει αὐτῷ· ἔκ τε γὰρ τῶν ἄνωθεν πιέζει αὐτὸν καὶ ἐκ τῶν πλαγίων. τὸ δὲ ἐπὶ τῶν σκυτάλων ἐπὶ δύο τούτων κι-
35 νεῖται, τῇ τε κάτω χώρᾳ ὑποκειμένῃ καὶ τῷ βάρει τῷ ἐπικειμένῳ· ἐπ᾽ ἀμφοτέρων γὰρ τούτων κυλίεται τῶν τόπων ὁ κύκλος καὶ φερόμενος ὠθεῖται.

12 Διὰ τί πορρωτέρω τὰ βέλη φέρεται ἀπὸ τῆς σφενδόνης ἢ ἀπὸ τῆς χειρός; καίτοι κρατεῖ γε ὁ βάλλων τῇ χειρὶ
852b μᾶλλον ἢ ἀπαρτήσας τὸ βάρος. καὶ ἔτι οὕτω μὲν δύο βάρη κινεῖ, τό τε τῆς σφενδόνης καὶ τὸ βέλος, ἐκείνως δὲ τὸ βέλος μόνον. πότερον ὅτι ἐν μὲν τῇ σφενδόνῃ κινούμενον τὸ βέλος ῥίπτει ὁ βάλλων (περιαγαγὼν γὰρ κύκλῳ πολλά-
5 κις ἀφίησιν), ἐκ δὲ τῆς χειρὸς ἀπὸ τῆς ἠρεμίας ἡ ἀρχή· πάντα δὲ εὐκινητότερα κινούμενα ἢ ἠρεμοῦντα. ἢ διά τε

perché quanto più lungo è il raggio, tanto maggiore è lo spazio percorso nello stesso tempo; così, si avrà lo stesso risultato anche se vi si aggiunge un peso uguale. Come si è detto, anche le bilance grandi sono più precise delle piccole, perché la corda è il centro e le parti della bilancia ai due lati della corda sono i raggi[184].

10. Perché la bilancia si muove più facilmente se non vi è sopra un peso, che se vi è? Parimenti, nel caso di una ruota o di qualcosa del genere, ciò che è più piccolo e leggero si muove più facilmente di ciò che è pesante e grande[185]. Forse perché ciò che è pesante si muove con difficoltà non solo nella direzione contraria, ma anche di lato. Certo è difficile mettere in movimento un peso in direzione contraria alla sua inclinazione naturale, mentre è facile nel senso dell'inclinazione; inoltre il peso non tende di lato[186].

11. Perché un carico si trasporta meglio su rulli che su carri, pur se questi hanno grandi ruote, mentre quelli un piccolo diametro?[187] Forse perché nel caso dei rulli non c'è alcun attrito[188], mentre nei carri l'attrito è con l'asse, perché il carico esercita una pressione su di esso, da sopra e di lato. Nei rulli invece il movimento si distribuisce su due punti: nel terreno sottostante e sopra dove il peso grava; così il cerchio rotola su entrambe queste parti, e viene sospinto dal movimento[189].

12. Perché i proiettili lanciati con la fionda vanno più lontano di quelli lanciati con la mano?[190] Eppure chi lancia con la mano esercita sull'oggetto un maggior controllo di quando ne sospende il peso. In quest'ultimo caso ha inoltre due pesi da muovere: quello della fionda e **852b** l'oggetto da lanciare, nell'altro solo l'oggetto. Forse perché chi lancia con la fionda lo fa quando il proiettile è già in movimento, dato che lo fa girare parecchie volte prima di lasciarlo andare, mentre quando lo lancia con la mano, il movimento comincia da una posizione di quiete? Ora, ogni corpo si muove con più facilità se è già in movimento, che se è in quiete[191]. Oppure, sia per

τοῦτο, καὶ διότι ἐν μὲν τῷ σφενδονᾶν ἡ μὲν χεὶρ γίνεται κέντρον, ἡ δὲ σφενδόνη ἡ ἐκ τοῦ κέντρου· ὅσῳ ἂν ᾖ μείζων ἡ ἀπὸ τοῦ κέντρου, κινεῖται θᾶττον. ἡ δὲ ἀπὸ τῆς χειρὸς
10 βολὴ πρὸς τὴν σφενδόνην βραχεῖα ἐστίν.

13 Διὰ τί ῥᾷον κινοῦνται περὶ τὸ αὐτὸ ζυγὸν οἱ μείζους τῶν ἐλαττόνων κόλλοπες, καὶ οἱ αὐτοὶ ὄνοι οἱ λεπτότεροι ὑπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος τῶν παχυτέρων; ἢ διότι ὁ μὲν ὄνος καὶ τὸ ζυγὸν κέντρον ἐστίν, τὰ δὲ ἀπέχοντα μεγέθη αἱ ἐκ
15 τοῦ κέντρου; θᾶττον δὲ κινοῦνται καὶ πλέον ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος αἱ τῶν μειζόνων κύκλων ἢ αἱ τῶν ἐλαττόνων· ὑπὸ τῆς αὐτῆς γὰρ ἰσχύος θᾶττον μεθίσταται τὸ ἄκρον τὸ πορρώτερον τοῦ κέντρου. διὸ πρὸς μὲν τὸ ζυγὸν τοὺς κόλλοπας ὄργανα ποιοῦνται, οἷς ῥᾷον στρέφουσιν· ἐν δὲ τοῖς λεπτοῖς
20 ὄνοις πλεῖον γίνεται τὸ ἔξω τοῦ ξύλου, αὕτη δὲ γίνεται ἡ ἐκ τοῦ κέντρου.

14 Διὰ τί τὸ αὐτὸ μέγεθος ξύλον ῥᾷον κατεάσσεται περὶ τὸ γόνυ, ἐὰν ἴσον ἀποστήσας τῶν ἄκρων ἐχόμενος καταγνύῃ, ἢ παρὰ τὸ γόνυ ἐγγὺς ὄντος· καὶ ἐὰν πρὸς τὴν γῆν
25 ἐρείσας καὶ τῷ ποδὶ προσβὰς πόρρωθεν τῇ χειρὶ καταγνύῃ, ἢ ἐγγύθεν; ἢ διότι ἔνθα μὲν τὸ γόνυ κέντρον, ἔνθα δὲ ὁ πούς. ὅσῳ δ᾽ ἂν πορρώτερον ᾖ τοῦ κέντρου, ῥᾷον κινεῖται ἅπαν. κινηθῆναι δὲ ἀνάγκη καταγνύμενον.

15 Διὰ τί περὶ τοὺς αἰγιαλοὺς αἱ καλούμεναι κρόκαι στρογ-
30 γύλαι εἰσίν, ἐκ μακρῶν τῶν λίθων καὶ ὀστράκων τὸ ἐξ ὑπαρχῆς ὄντων; ἢ διότι τὰ πλεῖον ἀπέχοντα τοῦ μέσου ἐν ταῖς κινήσεσι θᾶττον φέρεται. τὸ μὲν γὰρ μέσον γίνεται κέντρον, τὸ δὲ διάστημα ἡ ἐκ τοῦ κέντρου. ἀεὶ δὲ ἡ μείζων ἀπὸ τῆς ἴσης κινήσεως μείζω γράφει κύκλον. τὸ δ᾽ ἐν

questo, sia perché, quando si tira con la fionda, la mano fa da centro e la fionda costituisce il raggio: quanto più lungo è il raggio, tanto più veloce è il movimento; e nel lancio con la mano, il raggio è corto rispetto a quanto accade lanciando con la fionda[192].

13. Perché le manovelle[193] lunghe si muovono più facilmente delle corte intorno allo stesso asse[194], e perché proprio gli argani di piccole dimensioni si muovono più facilmente di quelli massicci, per azione della stessa forza?[195] Forse perché l'argano e il giogo costituiscono un centro, e le parti che sporgono sono i raggi? Ora, i raggi dei cerchi grandi si muovono più velocemente e di più[196] rispetto a quelli dei cerchi piccoli, a parità di forza esercitata, perché sotto l'azione della stessa forza l'estremità più distante dal centro si sposta più velocemente. Perciò si applicano le manovelle al giogo e se ne fa uno strumento per farlo ruotare con facilità. E nel caso degli argani di piccole dimensioni, la parte esterna al legno centrale è più lunga e costituisce il raggio[197].

14. Perché un pezzo di legno della stessa grandezza[198] si spezza più facilmente contro il ginocchio, se lo rompiamo afferrandone le estremità e tenendo le mani a uguale distanza dal ginocchio, più che se le teniamo molto vicino? E perché, se lo appoggiamo a terra e vi mettiamo il piede sopra, lo spezziamo meglio se lo afferriamo a una distanza maggiore dal piede, piuttosto che vicino? Forse perché nel primo caso, il centro è il ginocchio, nel secondo il piede; ogni corpo poi si muove più facilmente, quanto più esso sia lontano dal centro; ora, spezzare un oggetto significa per forza muoverlo[199].

15. Perché i cosiddetti ciottoli[200] che troviamo sulla spiaggia sono tondeggianti, anche se traggono origine da pietre e conchiglie di forma allungata? Forse perché ciò che è più lontano dalla parte centrale, quando si muove, lo fa più rapidamente? La parte mediana fa da centro, e la distanza da esso fa da raggio. Ora, il raggio più lungo descrive sempre un cerchio più grande, a parità di movi-

35 ἴσῳ χρόνῳ μείζω διεξιὸν θᾶττον φέρεται. τὰ δὲ φερόμενα θᾶττον ἐκ τοῦ ἴσου ἀποστήματος σφοδρότερον τύπτει. τὰ δὲ τύπτοντα μᾶλλον καὶ αὐτὰ τύπτεται μᾶλλον. ὥστε ἀνάγκη θραύεσθαι αἰεὶ τὰ πλέον ἀπέχοντα τοῦ μέσου. τοῦτο δὲ πάσχοντα ἀνάγκη γίνεσθαι περιφερῆ. ταῖς δὲ κρόκαις διὰ
853a τὴν τῆς θαλάττης κίνησιν, διὰ τὸ μετὰ τῆς θαλάττης κινεῖσθαι, συμβαίνει ἀεὶ ἐν κινήσει εἶναι καὶ κυλιομέναις προσκόπτειν. τοῦτο δὲ ἀνάγκη μάλιστα συμβαίνειν αὐτοῖς τοῖς ἄκροις.

5 16 Διὰ τί, ὅσῳ ἂν ᾖ μακρότερα τὰ ξύλα, τοσούτῳ ἀσθενέστερα γίνεται, καὶ κάμπτεται αἰρόμενα μᾶλλον, κἂν ᾖ τὸ μὲν βραχύ, ὅσον δίπηχυ, λεπτόν, τὸ δὲ ἑκατὸν πηχῶν παχύ; ἢ διότι μοχλὸς γίνεται καὶ βάρος καὶ ὑπομόχλιον ἐν τῷ αἴρεσθαι τοῦ ξύλου τὸ μῆκος; τὸ μὲν γὰρ πρῶτον μέ-
10 ρος αὐτοῦ, ὃ ἡ χεὶρ αἴρει, οἷον ὑπομόχλιον γίνεται, τὸ δ' ἐπὶ τῷ ἄκρῳ βάρος. ὥστε ὅσῳ ἂν ᾖ μακρότερον τὸ ἀπὸ τοῦ ὑπομοχλίου, τοσούτῳ ἀνάγκη κάμπτεσθαι μᾶλλον· ὅσῳ γὰρ ἂν πλέον ἀπέχῃ τοῦ ὑπομοχλίου, τοσούτῳ ἀνάγκη κάμπτεσθαι μεῖζον. ἀνάγκη οὖν αἴρεσθαι τὰ ἄκρα τοῦ
15 μοχλοῦ. ἐὰν οὖν ᾖ καμπτόμενος ὁ μοχλός, ἀνάγκη αὐτὸν κάμπτεσθαι μᾶλλον αἰρόμενον. ὅπερ συμβαίνει ἐπὶ τῶν ξύλων τῶν μακρῶν· ἐν δὲ τοῖς βραχέσιν ἐγγὺς τὸ ἔσχατον τοῦ ὑπομοχλίου γίνεται τοῦ ἠρεμοῦντος.

17 Διὰ τί τῷ σφηνὶ ὄντι μικρῷ μεγάλα βάρη διίσταται
20 καὶ μεγέθη σωμάτων, καὶ θλῖψις ἰσχυρὰ γίνεται; ἢ διότι ὁ σφὴν δύο μοχλοί εἰσιν ἐναντίοι ἀλλήλοις, ἔχει δὲ ἑκάτερος τὸ μὲν βάρος τὸ δὲ ὑπομόχλιον, ὃ καὶ ἀνασπᾷ ἢ πιέζει. ἔτι δὲ ἡ τῆς πληγῆς φορὰ τὸ βάρος, ὃ τύπτει καὶ κινεῖ, ποιεῖ μέγα· καὶ διὰ τὸ κινούμενον κινεῖν τῇ ταχυ-

mento impresso[201]; inoltre, ciò che percorre una distanza maggiore in tempo uguale si muove più velocemente[202], e ciò che si muove più velocemente colpisce con più forza a partire dalla stessa distanza. Ancora, ciò che colpisce di più è a sua volta maggiormente colpito[203]; ne consegue di necessità che le parti più lontane dalla zona centrale si spezzano e diventano, in seguito a questo processo, rotonde. Ora, i ciottoli sono sempre in movimento, **853a** perché il mare si muove ed essi si muovono insieme, rotolano e così urtano con altri: all'urto sono necessariamente esposte soprattutto le loro parti più esterne[204].

16. Perché i pezzi di legno sono tanto più fragili, quanto più sono lunghi, e si piegano più facilmente quando vengono sollevati, anche se il pezzo corto misura per esempio due cubiti ed è esile, mentre quello di cento cubiti di lunghezza è massiccio?[205] Forse perché nel momento in cui il legno viene sollevato, la sua lunghezza fa sì che in esso si generino leva, peso e fulcro[206]? La prima parte del legno, quella che viene sollevata con la mano, fa da fulcro, la parte estrema rappresenta invece il peso. Di conseguenza, quanto maggiore è la distanza dal fulcro, tanto più il legno deve piegarsi, perché il suo piegamento deve essere maggiore in corrispondenza di una maggiore distanza dal fulcro. Così le estremità della leva devono sollevarsi; allora, se la leva può essere piegata, deve piegarsi ancora di più quando viene sollevata: è quello che accade nel caso dei legni lunghi; in quelli corti invece la parte estrema è vicina al fulcro che sta fermo[207].

17. Perché grandi pesi e corpi di grandi dimensioni possono essere spaccati da un cuneo, che è piccolo, e perché la pressione che esso esercita è forte? Forse perché il cuneo consiste di due leve tra loro opposte e ognuna ha un peso[208] e un fulcro, con cui viene esercitata una spinta verso l'alto o verso il basso. Ancora, l'impeto[209] del colpo accresce l'efficacia del peso, che colpisce e smuove, e la forza aumenta a causa della velocità perché

25 τῆτι ἰσχύει ἔτι πλέον. μικρῷ δὲ ὄντι μεγάλαι δυνάμεις ἀκολουθοῦσι· διὸ λανθάνει κινῶν παρὰ τὴν ἀξίαν τοῦ μεγέθους. ἔστω σφὴν ἐφ᾽ ᾧ ΑΒΓ, τὸ δὲ σφηνούμενον ΔΕΗΖ. μοχλὸς δὴ γίνεται ἡ ΑΒ, βάρος δὲ τὸ τοῦ Β κάτωθεν, ὑπομόχλιον δὲ τὸ Ζ. ἐναντίος δὲ τούτῳ μοχλὸς τὸ ΒΓ.
30 ἡ δὲ ΑΓ κοπτομένη ἑκατέρᾳ τούτων χρῆται μοχλῷ· ἀνασπᾷ γὰρ τὸ Β.

18 Διὰ τί, ἐάν τις δύο τροχιλέας ποιήσας ἐπὶ δυσὶ ξύλοις συμβάλλουσιν ἑαυτοῖς ἐναντίως αὐταῖς κύκλῳ περιβάλῃ καλώδιον, ἔχον τὸ ἄρτημα ἐκ θατέρου τῶν ξύλων,
35 θάτερον δὲ ᾖ προσερηρεισμένον ἢ προστεθειμένον κατὰ τὰς τροχαλίας, ἐὰν ἕλκῃ τις τῇ ἀρχῇ τοῦ καλωδίου, μεγάλα βάρη προσάγει, κἂν ᾖ μικρὰ ἡ ἕλκουσα ἰσχύς; ἢ διότι τὸ αὐτὸ βάρος ἀπὸ ἐλάττονος ἰσχύος, εἰ μοχλεύεται, ἐγείρεται, ἢ ἀπὸ χειρός; ἡ δὲ τροχιλέα τὸ αὐτὸ ποιεῖ τῷ μο-
853b χλῷ, ὥστε ἡ μία ῥᾷον ἕλξει, καὶ ἀπὸ μιᾶς ὁλκῆς τοῦ κατὰ χεῖρα πολὺ ἕλξει βαρύτερον. τοῦτο δ᾽ αἱ δύο τροχαλίαι πλέον ἢ διπλασίῳ τάχει αἴρουσαι. ἔλαττον γὰρ ἔτι ἡ ἑτέρα ἕλκει ἢ εἰ αὐτὴ καθ᾽ ἑαυτὴν εἷλκεν, ὅταν
5 παρὰ τῆς ἑτέρας ἐπιβληθῇ τὸ σχοινίον· ἐκείνη γὰρ ἔτι ἔλαττον ἐποίησε τὸ βάρος. καὶ οὕτως ἐὰν εἰς πλείους ἐπιβάλληται τὸ καλώδιον, ἐν ὀλίγαις τροχιλέαις πολλὴ γίνεται διαφορά, ἢ ὥστε ὑπὸ τῆς πρώτης τοῦ βάρους ἕλκοντος τέτταρας μνᾶς, ὑπὸ τῆς τελευταίας ἕλκεσθαι πολλῷ
10 ἐλάττω. καὶ ἐν τοῖς οἰκοδομικοῖς ἔργοις ῥᾳδίως κινοῦσι μεγάλα βάρη· μεταφέρουσι γὰρ ἀπὸ τῆς αὐτῆς τροχιλέας ἐφ᾽ ἑτέραν, καὶ πάλιν ἀπ᾽ ἐκείνης εἰς ὄνους καὶ μοχλούς· τοῦτο δὲ ταὐτόν ἐστι τῷ ποιεῖν πολλὰς τροχιλέας.

19 Διὰ τί, ἐὰν μέν τις ἐπιθῇ ἐπὶ τὸ ξύλον πέλεκυν μέγαν
15 καὶ φορτίον μέγα ἐπ᾽ αὐτῷ, οὐ διαιρεῖ τὸ ξύλον, ὅ τι καὶ

smuove ciò che è già in movimento[210]. In conclusione, una grande potenza si associa al cuneo che è in sé piccolo; perciò esso riesce a spingere, anche se non ce lo aspettiamo, considerando le sue dimensioni[211].

Sia ΑΒΓ il cuneo[212], e ΔΕΗΖ l'oggetto sottoposto alla sua azione. Una leva è ΑΒ, il peso è sotto in Β, il fulcro è Ζ[213]. Opposta, è l'altra leva ΒΓ. Quando si colpisce ΑΓ agiscono come leve sia ΑΒ sia ΒΓ: si ha così una spinta verso l'alto, nel punto Β[214].

18. Perché se si costruiscono due pulegge su due blocchi di legno disposti tra di loro in modo contrario e si passa tutt'attorno a esse una corda, con un'estremità attaccata a uno dei due blocchi, e l'altra fissata o applicata alle pulegge[215], si possono muovere grandi pesi, anche se la forza di trazione è piccola, tirando un capo della corda? Forse perché, se si usa una leva, lo stesso peso viene sollevato con una forza minore di quella che sarebbe necessaria usando le mani?

La puleggia funziona come una leva, così che una sola puleggia tirerà con più facilità e sposterà con una sola trazione un oggetto molto più pesante in confronto a quello spostato dalla mano[216]. Con due pulegge si solleva poi questo peso con una velocità maggiore del doppio[217], perché la seconda puleggia tira un peso inferiore a quello che tirerebbe da sola, quando la fune viene fatta passare su di essa: il peso viene così reso ancora più leggero. In questo modo, se la corda viene passata attraverso più pulegge, anche se poche, si ha una considerevole differenza; così, se la prima trae un peso, supponiamo di quattro mine, l'ultima trarrà un peso molto minore. Quando si costruiscono edifici, si spostano facilmente grandi pesi, proprio perché vengono fatti passare da una puleggia all'altra[218], e da qui ancora in argani e leve: questo equivale all'impiego di un maggior numero di pulegge[219]. **853b**

19. Perché se si mette una grande ascia su un pezzo di legno e su di essa un pesante carico, l'ascia non spacca

λόγου ἄξιον· ἐὰν δὲ ἄρας τὸν πέλεκύν τις πατάξῃ αὐτῷ, διασχίζει, ἔλαττον βάρος ἔχοντος τοῦ τύπτοντος πολὺ μᾶλλον ἢ τοῦ ἐπικειμένου καὶ πιεζοῦντος; ἢ διότι πάντα τῇ κινήσει ἐργάζεται, καὶ τὸ βαρὺ τὴν τοῦ βάρους κίνησιν λαμβάνει 20 μᾶλλον κινούμενον ἢ ἠρεμοῦν; ἐπικείμενον οὖν οὐ κινεῖται τὴν τοῦ βάρους κίνησιν, φερόμενον δὲ ταύτην τε καὶ τὴν τοῦ τύπτοντος. ἔτι δὲ καὶ γίνεται σφὴν ὁ πέλεκυς· ὁ δὲ σφὴν μικρὸς ὢν μεγάλα διίστησι διὰ τὸ εἶναι ἐκ δύο μοχλῶν ἐναντίως συγκειμένων.

25 20 Διὰ τί αἱ φάλαγγες τὰ κρέα ἱστᾶσιν ἀπὸ μικροῦ ἀρτήματος μεγάλα βάρη, τοῦ ὅλου ἡμιζυγίου ὄντος; οὗ μὲν γὰρ τὸ βάρος ἐντίθεται, κατήρτηται μόνον ἡ πλάστιγξ, ἐπὶ θάτερον δὲ ἡ φάλαγξ ἐστὶ μόνον. ἢ ὅτι ἅμα συμβαίνει ζυγὸν καὶ μοχλὸν εἶναι τὴν φάλαγγα; ζυγὸν μὲν γάρ, ᾗ 30 τῶν σπαρτίων ἕκαστον γίνεται τὸ κέντρον τῆς φάλαγγος. τὸ μὲν οὖν ἐπὶ θάτερα ἔχει πλάστιγγα, τὸ δὲ ἐπὶ θάτερα ἀντὶ τῆς πλάστιγγος τὸ σφαίρωμα, ὃ τῷ ζυγῷ ἔγκειται, ὥσπερ εἴ τις τὴν ἑτέραν πλάστιγγα καὶ τὸν σταθμὸν ἐπιθείη ἐπὶ τὸ ἄκρον τῆς φάλαγγος· δῆλον γὰρ ὅτι ἕλκει τοσοῦτον βάρος 35 ἐν τῇ ἑτέρᾳ κείμενον πλάστιγγι. ὅπως δὲ τὸ ἓν ζυγὸν πολλὰ ᾖ ζυγά, τοιαῦτα τὰ σπαρτία πολλὰ ἔγκειται ἐν τῷ τοιούτῳ ζυγῷ, ὧν ἑκάστου τὸ ἐπὶ τάδε ἐπὶ τὸ σφαίρωμα τὸ ἥμισυ τῆς φάλαγγός ἐστι καὶ ὁ σταθμός, δι᾽ ἴσου τῶν ἀπ᾽ ἀλλήλων τῶν σπαρτίων κινουμένων, ὥστε συμμετρεῖσθαι πόσον βάρος **854a** ἕλκει τὸ ἐν τῇ πλάστιγγι κείμενον· ὥστε γινώσκειν, ὅταν ὀρθὴ ἡ φάλαγξ ᾖ, ἀπὸ ποίου σπάρτου πόσον βάρος ἔχει ἡ

completamente il legno; se invece si solleva l'ascia e si colpisce con essa, il legno si spezza in due, anche se nel colpire si esercita un peso molto inferiore a quello che si eserciterebbe se l'ascia[220] stesse sopra e facesse pressione?

Forse perché è sempre il movimento ad agire, ma un grave in movimento acquisisce anche la spinta che gli deriva dal proprio peso, più di quando sta fermo?[221] Allora, se l'ascia sta semplicemente sopra il legno non si muove del movimento prodotto dal suo peso, se invece è messa in movimento, ha sia questo movimento sia quello impresso da chi colpisce[222]. Inoltre, l'ascia fa da cuneo, e il cuneo, anche se è piccolo, divide corpi grandi, perché consiste di due leve che sono disposte e agiscono in modo opposto[223].

20. Perché le stadere possono pesare grandi quantità di carne con un piccolo contrappeso, se tutto il congegno forma solo una mezza bilancia? C'è infatti un solo piatto sospeso, dove si mette l'oggetto da pesare, mentre dall'altra parte c'è solo il braccio[224].

Forse perché la stadera è contemporaneamente una bilancia e una leva?[225] Bilancia in quanto ogni punto di sospensione[226] fa da centro della stadera. Ora, da una parte c'è il piatto, dall'altra, invece del piatto, c'è il contrappeso, inserito nel braccio, come se si ponesse l'altro piatto insieme con il peso all'estremità della stadera[227]: è chiaro pertanto che equivale al peso[228] che sta nell'altro piatto. Perché una sola bilancia possa agire come molte bilance, ci sono in una bilancia cosiffatta dei punti di sospensione collocati in posizione tale che in ciascun caso la parte verso il contrappeso costituisca la metà della stadera e ci sia equilibrio; così è possibile misurare quanto pesa l'oggetto che sta sul piatto, dato che i punti **854a** di sospensione si distanziano in modo opportuno, e conoscere, quando la stadera è diritta, quanto peso il piatto sostiene, secondo la posizione del punto di sospensione, come si è detto[229].

πλάστιγξ, καθάπερ εἴρηται. ὅλως μέν ἐστι τοῦτο ζυγόν, ἔχον
μίαν μὲν πλάστιγγα, ἐν ᾗ ἵσταται τὸ βάρος, τὴν δ' ἑτέραν,
5 ἐν ᾗ τὸ σταθμὸν ἐν τῇ φάλαγγι. διὸ σφαίρωμά ἐστιν ἡ
φάλαγξ ἐπὶ θάτερον. τοιοῦτον δὲ ὂν πολλὰ ζυγά ἐστι, καὶ
τοσαῦτα ὅσαπέρ ἐστι τὰ σπαρτία. ἀεὶ δὲ τὸ ἐγγύτερον
σπαρτίον τῆς πλάστιγγος καὶ τοῦ ἱσταμένου βάρους μεῖζον ἕλ-
κει βάρος, διὰ τὸ γίνεσθαι τὴν μὲν φάλαγγα πᾶσαν μο-
10 χλὸν ἀνεστραμμένον (ὑπομόχλιον μὲν γὰρ τὸ σπαρτίον
ἕκαστον ἄνωθεν ὄν, τὸ δὲ βάρος τὸ ἐνὸν ἐν τῇ πλάστιγγι),
ὅσῳ δ' ἂν μακρότερον ᾖ τὸ μῆκος τοῦ μοχλοῦ τοῦ ἀπὸ τοῦ
ὑπομοχλίου, τοσούτῳ ἐκεῖ μὲν ῥᾷον κινεῖ, ἐνταῦθα δὲ σή-
κωμα ποιεῖ, καὶ ἵστησι τὸ πρὸς τὸ σφαίρωμα βάρος τῆς
15 φάλαγγος.

21 Διὰ τί οἱ ἰατροὶ ῥᾷον ἐξαιροῦσι τοὺς ὀδόντας προσλαμ-
βάνοντες βάρος τὴν ὀδοντάγραν ἢ τῇ χειρὶ μόνῃ ψιλῇ;
πότερον διὰ τὸ μᾶλλον ἐξολισθαίνειν διὰ τῆς χειρὸς τὸν
ὀδόντα ἢ ἐκ τῆς ὀδοντάγρας; ἢ μᾶλλον ὀλισθαίνει τῆς
20 χειρὸς ὁ σίδηρος, καὶ οὐ περιλαμβάνει αὐτὸν κύκλῳ· μαλ-
θακὴ γὰρ οὖσα ἡ σὰρξ τῶν δακτύλων καὶ προσμένει μᾶλ-
λον καὶ περιαρμόττει. ἀλλ' ὅτι ἡ ὀδοντάγρα δύο μοχλοί
εἰσιν ἀντικείμενοι, ἓν τὸ ὑπομόχλιον ἔχοντες τὴν σύναψιν
τῆς θερμαστρίδος· τοῦ ῥᾷον οὖν κινῆσαι χρῶνται τῷ ὀργάνῳ
25 πρὸς τὴν ἐξαίρεσιν. ἔστω γὰρ τῆς ὀδοντάγρας τὸ μὲν ἕτε-
ρον ἄκρον ἐφ' ᾧ τὸ Α, τὸ δὲ ἕτερον, τὸ Β, ὃ ἐξαιρεῖ· ὁ
δὲ μοχλὸς ἐφ' ᾧ ΑΔΖ, ὁ δὲ ἄλλος μοχλὸς ἐφ' ᾧ Β
ΓΕ, ὑπομόχλιον δὲ τὸ ΓΘΔ· ὁ δὲ ὀδοὺς ἐφ' οὗ Ι σύν-
αψις· ὁ δὲ τὸ βάρος. ἑκατέρῳ οὖν τῶν ΒΖ καὶ ἅμα λα-
30 βὼν κινεῖ. ὅταν δὲ κινήσῃ, ἐξεῖλε ῥᾷον τῇ χειρὶ ἢ τῷ
ὀργάνῳ.

22 Διὰ τί τὰ κάρυα ῥᾳδίως καταγνύουσιν ἄνευ πληγῆς ἐν
τοῖς ὀργάνοις ἃ ποιοῦσι πρὸς τὸ καταγνύναι αὐτά; πολλὴ

Insomma, questa è una bilancia con un solo piatto, nel quale si mette l'oggetto da pesare; l'altro sarebbe quello in cui sta il peso della stadera; perciò, da quest'altra parte, la stadera è costituita dal contrappeso. Dato che è fatta così, svolge la funzione di molte bilance, tante quante sono i punti di sospensione[230]. Il punto di sospensione più vicino al piatto e all'oggetto da pesare equivale sempre a un peso maggiore, perché la stadera nella sua interezza diventa una leva capovolta: ogni punto di sospensione è un fulcro, che sta sopra, e il peso è quello che sta nel piatto[231]. Quanto maggiore è la distanza della leva dal fulcro, tanto più facile è il movimento, nel caso della leva; in questo caso invece si determina un equilibrio, cioè un controbilanciamento del peso della stadera con il contrappeso[232].

21. Perché i medici, se sfruttano anche il peso di una tenaglia, estraggono i denti con maggiore facilità che se si servono solo della mano?[233]

Forse dipende dal fatto che il dente scivola via di più tra le dita della mano che dalla tenaglia? Oppure, scivola più facilmente della mano il ferro, che non afferra il dente tutto intorno, mentre la carne delle dita, che è morbida, aderisce meglio al dente e vi si adatta intorno[234]. In verità, la tenaglia è costituita da due leve contrapposte, con un solo fulcro nel punto di congiunzione della tenaglia; così, i medici usano questo strumento per togliere i denti, al fine di smuoverli più facilmente[235].

Sia A un'estremità della tenaglia[236], e B l'altra che estrae il dente; la leva è ΑΔΖ, l'altra è ΒΓΕ; il fulcro è ΓΘΔ. Il dente, cioè il peso (resistenza)[237], sia nel punto di congiunzione I; il medico prende il dente sia con B sia con Z e contemporaneamente lo muove: una volta smosso, lo può estrarre più facilmente con la mano che con lo strumento[238].

22. Perché si schiacciano con facilità le noci senza colpirle, servendosi dello strumento fatto apposta per schiacciarle? In questo modo viene meno la considere-

γὰρ ἀφαιρεῖται ἰσχὺς ἡ τῆς φορᾶς καὶ βίας. ἔτι δὲ σκληρῷ
35 καὶ βαρεῖ συνθλίβων θᾶττον ἂν κατάξαι ἢ ξυλίνῳ καὶ κούφῳ
τῷ ὀργάνῳ. ἢ διότι οὕτως ἐπ' ἀμφότερα θλίβεται ὑπὸ δύο
μοχλῶν τὸ κάρυον, τῷ δὲ μοχλῷ ῥᾳδίως διαιρεῖται τὰ
βάρη; τὸ γὰρ ὄργανον ἐκ δύο σύγκειται μοχλῶν, ὑπο-
μόχλιον ἐχόντων τὸ αὐτό, τὴν συναφὴν ἐφ' ἧς τὸ Α. ὥσ-
854b περ οὖν εἰ ἦσαν ἐκβεβλημέναι, ὑφ' ὧν κινουμένων εἰς τὰ τῶν
ΓΔ ἄκρα αἱ ΕΖ συνήγοντο ῥᾳδίως ἀπὸ μικρᾶς ἰσχύος·
ἣν οὖν ἐν τῇ πληγῇ τὸ βάρος ἐποίει, ταύτην ἢ κρείττονα ταύ-
της, αἱ ΕΓ καὶ ΖΔ, μοχλοὶ ὄντες ποιοῦσι· τῇ ἄρσει γὰρ
5 εἰς τοὐναντίον αἴρονται, καὶ θλίβοντες καταγνύουσι τὸ ἐφ' ᾧ Κ.
δι' αὐτὸ δὲ τοῦτο καὶ ὅσῳ ἂν ἐγγύτερον ᾖ τῆς Α τὸ Κ, συν-
τρίβεται θᾶττον· ὅσῳ γὰρ ἂν πλεῖον ἀπέχῃ τοῦ ὑπομοχλίου
ὁ μοχλός, ῥᾷον κινεῖ καὶ πλεῖον ἀπὸ τῆς ἰσχύος τῆς αὐτῆς.
ἔστιν οὖν τὸ μὲν Α ὑπομόχλιον, ἡ δὲ ΔΑΖ μοχλός, καὶ ἡ
10 ΓΑΕ. ὅσῳ ἂν οὖν τὸ Κ ἐγγυτέρω ᾖ τῆς γωνίας τῶν Α,
τοσούτῳ ἐγγύτερον γίνεται τῆς συναφῆς τῶν Α· τοῦτο δέ ἐστι
τὸ ὑπομόχλιον. ἀνάγκη τοίνυν ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος συν-
αγούσης τὰ ΖΕ αἴρεσθαι πλέον. ὥστε ἐπεί ἐστιν ἐξ ἐναντίας
ἡ ἄρσις, ἀνάγκη θλίβεσθαι μᾶλλον· τὸ δὲ μᾶλλον θλιβό-
15 μενον κατάγνυται θᾶττον.

23 Διὰ τί φερομένων δύο φορὰς ἐν τῷ ῥόμβῳ τῶν ἄκρων
σημείων ἀμφοτέρων, οὐ τὴν ἴσην ἑκάτερον αὐτῶν εὐθεῖαν διέρ-
χεται, ἀλλὰ πολλαπλασίαν θάτερον; ὁ αὐτὸς δὲ λόγος καὶ
διὰ τί τὸ ἐπὶ τῆς πλευρᾶς φερόμενον ἐλάττω διέρχεται τῆς
20 πλευρᾶς. τὸ μὲν γὰρ τὴν διάμετρον τὴν ἐλάττω, ἡ δὲ τὴν
πλευρὰν τὴν μείζω, καὶ ἡ μὲν μίαν, τὸ δὲ δύο φέρεται

vole forza impressa dal movimento e dal colpo violento. Inoltre, si potrebbero schiacciare le noci con maggiore rapidità comprimendole con uno strumento duro e pesante, più che con uno di legno e leggero[239].

Forse perché la noce viene così premuta sui due lati da due leve, e con la leva si dividono con facilità corpi pesanti?[240] Lo schiaccianoci consiste appunto di due leve che hanno lo stesso fulcro, cioè A, il punto di congiunzione[241]. Allora, i punti EZ possono facilmente congiungersi con l'aiuto di una piccola forza, proprio come è avvenuto se sono stati allontanati, per azione del movimento impresso nei punti estremi ΓΔ[242]; così le linee EΓ e ZΔ, che sono leve, esercitano la stessa forza che eserciterebbe il peso, se la noce venisse colpita, o anche maggiore, perché le leve col movimento si sollevano in direzione contraria[243], premono e schiacciano la noce nel punto K. Proprio per questa ragione, quanto più K è vicino ad A, tanto prima la noce si frantuma, perché quanto maggiore è la distanza della leva dal fulcro, tanto più facile ed efficace è il movimento da essa prodotto, a parità di forza esercitata[244]. **854b**

In conclusione, A è il fulcro, ΔAZ e ΓAE le due leve. Quanto più K è vicino all'angolo in A, tanto più è vicino al loro punto di congiunzione in A, che costituisce il fulcro. La conseguenza necessaria in questo caso è che, pur se la stessa forza avvicina Z e E [245], la sollecitazione sia maggiore; deve esserci cioè una maggiore compressione, dato che il movimento proviene da direzioni contrarie: ora, ciò che subisce una maggiore pressione, si rompe prima[246].

23. Perché in un rombo, quando i due punti estremi hanno entrambi due movimenti, non percorrono un'eguale linea retta, ma uno percorre una linea molto più lunga dell'altro?[247] È lo stesso che domandarsi perché il punto che si muove sul lato ne percorre un tratto minore: il punto percorre la diagonale che è più corta, mentre il lato percorre il lato che è più lungo; inoltre il lato ha un solo movimento, mentre il punto ne ha due[248].

φοράς. φερέσθω γὰρ ἐπὶ τῆς ΑΒ τὸ μὲν Α πρὸς τὸ Β, τὸ
δὲ Β πρὸς τὸ Α τῷ αὐτῷ τάχει· φερέσθω δὲ καὶ ἡ ΑΒ
ἐπὶ τῆς ΑΓ παρὰ τὴν ΓΔ τῷ αὐτῷ τάχει τούτοις. ἀνάγκη
25 δὴ τὸ μὲν Α ἐπὶ τῆς ΑΔ διαμέτρου φέρεσθαι, τὸ δὲ Β ἐπὶ
τῆς ΒΓ, καὶ ἅμα διεληλυθέναι ἑκατέραν, καὶ τὴν ΑΒ τὴν
ΑΓ πλευράν. ἐνηνέχθω γὰρ τὸ μὲν Α τὴν ΑΕ, ἡ δὲ Α
Β τὴν ΑΖ, καὶ ἔστω ἐκβεβλημένη ἡ ΖΗ παρὰ τὴν ΑΒ,
καὶ ἀπὸ τοῦ Ε πεπληρώσθω. ὅμοιον οὖν γίνεται τὸ παρα-
30 πληρωθὲν τῷ ὅλῳ. ἴση ἄρα ἡ ΑΖ τῇ ΑΕ, ὥστε τὸ Α
ἐπὶ τῆς πλευρᾶς ἐνήνεκται τῆς ΑΕ. ἡ δὲ ΑΒ τὴν ΑΖ
εἴη ἂν ἐνηνεγμένη. ἔσται ἄρα ἐπὶ τῆς διαμέτρου κατὰ τὸ Θ.
καὶ αἰεὶ δὲ ἀνάγκη αὐτὸ φέρεσθαι κατὰ τὴν διάμετρον.
καὶ ἅμα ἡ πλευρὰ ἡ ΑΒ τὴν πλευρὰν τὴν ΑΓ δίεισι,
35 καὶ τὸ Α τὴν διάμετρον δίεισι τὴν ΑΔ. ὁμοίως δὲ δειχ-
θήσεται καὶ τὸ Β ἐπὶ τῆς ΒΓ διαμέτρου φερόμενον. ἴση
γάρ ἐστιν ἡ ΒΕ τῇ ΒΗ. παραπληρωθέντος οὖν ἀπὸ τοῦ Η,
ὅμοιόν ἐστι τῷ ὅλῳ τὸ ἐντός. καὶ τὸ Β ἐπὶ τῆς διαμέτρου
ἔσται κατὰ τὴν σύναψιν τῶν πλευρῶν, καὶ ἅμα δίεισιν ἥ
855a τε πλευρὰ τὴν πλευρὰν καὶ τὸ Β τὴν ΒΓ διάμετρον.
ἅμα ἄρα καὶ τὸ Β τὴν πολλαπλασίαν τῆς ΑΒ δίεισι
καὶ ἡ πλευρὰ τὴν ἐλάττονα πλευράν, τῷ αὐτῷ τάχει φε-
ρόμενα, καὶ ἡ πλευρὰ μείζω τοῦ Α διελήλυθε μίαν φο-
5 ρὰν φερομένη. ὅσῳ γὰρ ἂν ὀξύτερος γένηται ὁ ῥόμβος, ἡ
μὲν ΑΔ διάμετρος ἡ ἐλάττων γίνεται, ἡ δὲ ΒΓ μείζων, ἡ δὲ
πλευρὰ τῆς ΒΓ ἐλάττων. ἄτοπον γάρ, ὥσπερ ἐλέχθη, τὸ
δύο φορὰς φερόμενον ἐνίοτε βραδύτερον φέρεσθαι τοῦ μίαν,
καὶ ἀμφοτέρων ἰσοταχῶν σημείων δοθέντων μείζω διεξιέ-
10 ναι θάτερον. αἴτιον δὲ ὅτι τοῦ μὲν ἀπὸ τῆς ἀμβλείας φε-
ρομένου σχεδὸν ἐναντίαι ἀμφότεραι γίνονται, ἥν τε αὐτὸ
φέρεται καὶ ἣν ὑπὸ τῆς πλευρᾶς ὑποφέρεται, τοῦ δὲ ἀπὸ

Lungo AB si porti A verso B e B verso A[249] con la stessa velocità. Sempre con la stessa velocità si porti poi AB lungo ΑΓ parallelamente a ΓΔ. Allora A deve muoversi sulla diagonale ΑΔ, e B sulla diagonale ΒΓ; entrambi devono percorrere l'una e l'altra diagonale simultaneamente, mentre AB si muove lungo ΑΓ[250].

Il punto A sia portato lungo AE, e AB lungo AZ, e sia tracciata la linea ZH parallela a AB; da E sia tracciata un'altra linea per completare il parallelogramma. Il parallelogramma così formato è allora simile all'intero. Di fatto, la linea AZ è uguale a AE; quindi A si è mosso lungo il lato AE, e la linea AB si sarà mossa lungo AZ, così sarà sulla diagonale in Θ, e dovrà sempre muoversi lungo la diagonale. Contemporaneamente, il lato AB percorre il lato ΑΓ, e il punto A la diagonale ΑΔ.

Allo stesso modo si dimostrerà che anche B si muove sulla diagonale ΒΓ dal momento che BE è uguale a BH. Se si completa il parallelogramma, tracciando una linea a partire da H, il parallelogramma interno sarà simile all'intero. Il punto B sarà sulla diagonale nel punto di intersezione dei lati. Contemporaneamente il lato scorre **855a** lungo il lato, e il punto B lungo la diagonale ΒΓ[251].

Nello stesso tempo, il punto B percorrerà una linea molto più lunga di AB, e il lato si porterà lungo quello corto, anche se la velocità è la stessa: il lato con un solo movimento è andato più lontano di A. Quanto più il rombo diventa acuto, tanto più la diagonale ΑΔ diventa la diagonale più corta, mentre ΒΓ quella più lunga, e il lato più corto di ΒΓ. Come si è detto, è strano che il punto sottoposto a due movimenti proceda talora più lentamente del punto sottoposto a un solo movimento, e che uno percorra una distanza più lunga dell'altro, quando i due punti siano dotati della stessa velocità[252].

Il motivo è che, quando un punto si muove da un angolo ottuso, i due moti sono quasi opposti: uno è quello che compie da sé e l'altro quello indotto dal lato. Quando invece un punto si muove a partire da un ango-

τῆς ὀξείας συμβαίνει φέρεσθαι ἐπὶ τὸ αὐτό. συνεπουρίζει
γὰρ ἡ τῆς πλευρᾶς τὴν ἐπὶ τῆς διαμέτρου· καὶ ὅσῳ ἂν
15 τὴν μὲν ὀξυτέραν ποιήσῃ, τὴν δὲ ἀμβλυτέραν, ἡ μὲν βραδυτέρα ἔσται, ἡ δὲ θάττων. αἱ μὲν γὰρ ἐναντιώτεραι γίνονται διὰ τὸ ἀμβλυτέραν γίνεσθαι τὴν γωνίαν, αἱ δὲ
μᾶλλον ἐπὶ τὰ αὐτὰ διὰ τὸ συνάγεσθαι τὰς γραμμάς.
τὸ μὲν γὰρ Β σχεδὸν ἐπὶ τὸ αὐτὸ φέρεται κατ' ἀμφοτέ-
20 ρας τὰς φοράς· συνεπουρίζεται οὖν ἡ ἑτέρα, καὶ ὅσῳ ἂν
ὀξυτέρα γίνηται ἡ γωνία, τοσούτῳ μᾶλλον. τὸ Α δὲ ἐπὶ
τοὐναντίον· αὐτὸ μὲν γὰρ πρὸς τὸ Β φέρεται, ἡ δὲ πλευρὰ
ὑποφέρει αὐτὸ πρὸς τὸ Δ. καὶ ὅσῳ ἂν ἀμβλυτέρα ἡ γωνία ᾖ, ἐναντιώτεραι αἱ φοραὶ γίνονται· εὐθυτέρα γὰρ ἡ
25 γραμμὴ γίνεται. εἰ δ' ὅλως εὐθεῖα γένοιτο, παντελῶς ἂν
εἴησαν ἐναντίαι. ἡ δὲ πλευρὰ ὑπ' οὐθενὸς κωλύεται μίαν
φερομένη φοράν. εὐλόγως οὖν τὴν μείζω διέρχεται.

24 Ἀπορεῖται διὰ τί ποτε ὁ μείζων κύκλος τῷ ἐλάττονι
κύκλῳ ἴσην ἐξελίττεται γραμμήν, ὅταν περὶ τὸ αὐτὸ κέν-
30 τρον τεθῶσι; χωρὶς δὲ ἐκκυλιόμενοι, ὥσπερ τὸ μέγεθος αὐτῶν πρὸς τὸ μέγεθος ἔχει, οὕτως καὶ αἱ γραμμαὶ αὐτῶν
γίνονται πρὸς ἀλλήλας. ἔτι δὲ ἑνὸς καὶ τοῦ αὐτοῦ κέντρου
ὄντος ἀμφοῖν, ὁτὲ μὲν τηλικαύτη γίνεται ἡ γραμμὴ ἣν
ἐκκυλίονται, ἡλίκην ὁ ἐλάττων κύκλος καθ' αὑτὸν ἐκκυ-
35 λίεται, ὁτὲ δὲ ὅσην ὁ μείζων. ὅτι μὲν οὖν μείζω ἐκκυλίεται ὁ μείζων, φανερόν. γωνία μὲν γὰρ δοκεῖ κατὰ τὴν
αἴσθησιν εἶναι ἡ περιφέρεια ἑκάστου τῆς οἰκείας διαμέτρου,
ἡ τοῦ μείζονος κύκλου μείζων, ἡ δὲ τοῦ ἐλάττονος ἐλάττων,
ὥστε τὸν αὐτὸν τοῦτον ἕξουσι λόγον, καθ' ἃς ἐξεκυλίσθησαν
855b αἱ γραμμαὶ πρὸς ἀλλήλας κατὰ τὴν αἴσθησιν. ἀλλὰ μὴν
καὶ ὅτι τὴν ἴσην ἐκκυλίονται, ὅταν περὶ τὸ αὐτὸ κέντρον
κείμενοι ὦσι, δῆλον· καὶ οὕτως γίνεται ὁτὲ μὲν ἴση τῇ

lo acuto, il movimento procede nella stessa direzione: il movimento del lato favorisce quello sulla diagonale, e sarà più rapido o più lento a seconda che si faccia l'angolo più acuto o più ottuso; in questo caso, i movimenti prendono direzioni opposte, perché l'angolo è ottuso; nell'altro caso essi tendono di più verso la stessa direzione, perché le linee si avvicinano[253]. Il punto B segue quasi la stessa direzione nei suoi due movimenti: l'uno favorisce l'altro tanto più, quanto più acuto è l'angolo. Il contrario accade con A: il punto va da sé verso B, ma il lato tende a portarlo giù verso Δ. Inoltre più ottuso è l'angolo, più si hanno movimenti contrari, perché la linea si approssima a diventare sempre più diritta; e sarebbero del tutto contrari, se si avesse proprio una linea retta. Il lato che ha un solo movimento non è invece ostacolato da niente: per questo è logico aspettarsi che percorra una distanza maggiore[254].

24. Ci si domanda perché mai, nel caso di due cerchi concentrici, il più grande descriva una linea uguale a quella del più piccolo. Se rotolano indipendentemente invece le linee da essi tracciate hanno tra loro lo stesso rapporto che esiste tra le rispettive grandezze. Inoltre, posto che il centro di entrambi sia uno e lo stesso, talora la linea tracciata nel rotolare è della stessa lunghezza di quella tracciata soltanto dal rotolare del cerchio più piccolo, talora invece è della lunghezza di quella tracciata dal cerchio più grande[255].

È chiaro che il cerchio più grande nel rotolare percorre una linea più lunga: l'osservazione ci mostra che misurato sulla circonferenza l'angolo formato da ciascun cerchio col proprio diametro è più ampio nel cerchio più grande, e più piccolo nell'altro: questo stesso rapporto avranno di conseguenza tra di loro le linee su cui i **855b** cerchi rotolano, stando all'osservazione. Del resto è anche chiaro che essi nel rotolare tracciano una linea uguale, quando si trovino a essere concentrici. Così, la linea tracciata, quando essi rotolano, può risultare uguale o a

γραμμῇ ἣν ὁ μείζων κύκλος ἐκκυλίεται, ὁτὲ δὲ τῇ, ἣν ὁ ἐλάττων.
5 ἔστω γὰρ κύκλος ὁ μείζων μὲν ἐφ᾽ οὗ τὰ ΔΖΓ, ὁ δὲ ἐλάττων ἐφ᾽ οὗ τὰ ΕΗΒ, κέντρον δὲ ἀμφοῖν τὸ Α· καὶ ἣν μὲν ἐξελίττεται καθ᾽ αὑτὸν ὁ μέγας, ἡ ἐφ᾽ ἧς ΖΙ ἔστω, ἣν δὲ ὁ ἐλάττων καθ᾽ αὑτόν, ἡ ἐφ᾽ ἧς ΗΚ, ἴση τῇ ΖΛ. ἐὰν δὴ κινῶ τὸν ἐλάττονα, τὸ αὐτὸ κέντρον κινῶ, ἐφ᾽ οὗ
10 τὸ Α· ὁ δὲ μέγας προσηρμόσθω. ὅταν οὖν ἡ ΑΒ ὀρθὴ γένηται πρὸς τὴν ΗΚ, ἅμα καὶ ἡ ΑΓ γίνεται ὀρθὴ πρὸς τὴν ΖΛ, ὥστε ἔσται ἴσην ἀεὶ διεληλυθυῖα, τὴν μὲν ΗΚ, ἐφ᾽ ᾧ ΗΒ περιφέρεια, τὴν δὲ ΖΛ ἡ ἐφ᾽ ἧς ΖΓ. εἰ δὲ τὸ τέταρτον μέρος ἴσην ἐξελίττεται, δῆλον ὅτι καὶ ὁ ὅλος κύ-
15 κλος τῷ ὅλῳ κύκλῳ ἴσην ἐξελιχθήσεται, ὥστε ὅταν ἡ ΒΗ γραμμὴ ἔλθῃ ἐπὶ τὸ Κ, καὶ ἡ ΖΓ ἔσται περιφέρεια ἐπὶ τῆς ΖΛ, καὶ ὁ κύκλος ὅλος ἐξειλιγμένος. ὁμοίως δὲ καὶ ἐὰν τὸν μέγαν κινῶ, ἐναρμόσας τὸν μικρόν, τοῦ αὐτοῦ κέντρου ὄντος, ἅμα τῇ ΑΓ ἡ ΑΒ κάθετος καὶ ὀρθὴ ἔσται, ἡ
20 μὲν πρὸς τὴν ΖΙ, ἡ δὲ πρὸς τὴν ΗΘ. ὥστε ὅταν ἴσην ἡ μὲν τῇ ΗΘ ἔσται διεληλυθυῖα, ἡ δὲ τῇ ΖΙ, καὶ γένηται ὀρθὴ πάλιν ἡ ΖΑ πρὸς τὴν ΖΛ, καὶ ἡ ΑΗ ὀρθὴ πάλιν πρὸς τὴν ΗΚ, ὡς τὸ ἐξ ἀρχῆς ἔσονται ἐπὶ τῶν ΘΙ. τὸ δὲ μήτε στάσεως γινομένης τοῦ μείζονος τῷ ἐλάττονι, ὥστε μένειν τινὰ χρόνον
25 ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ σημείου· κινοῦνται γὰρ συνεχῶς ἄμφω ἀμφοτεράκις. μὴ ὑπερπηδῶντος τοῦ ἐλάττονος μηθὲν σημεῖον, τὸν μὲν μείζω τῷ ἐλάττονι ἴσην διεξιέναι, τὸν δὲ τῷ μείζονι, ἄτοπον. ἔτι δὲ μιᾶς κινήσεως οὔσης ἀεὶ τὸ κέντρον τὸ κινούμενον ὁτὲ μὲν τὴν μεγάλην ὁτὲ δὲ τὴν ἐλάττονα

quella del cerchio più grande o a quella del più piccolo[256].

Siano ΔΖΓ il cerchio più grande[257], EHB il più piccolo, A il centro comune a entrambi; ZI la linea descritta dalla circonferenza del cerchio più grande, con il suo movimento proprio; HK, uguale a ZΛ, la linea descritta dal più piccolo, con il suo movimento proprio[258].

Se io metto in movimento il più piccolo, muovo lo stesso centro, cioè A; a esso sia inoltre congiunto il più grande: quando AB diventa perpendicolare a HK, anche AΓ diventa contemporaneamente perpendicolare a ZΛ. Di conseguenza, sarà stata sempre percorsa una distanza uguale: HK rappresenta il movimento del tratto di circonferenza HB, e ZΛ il movimento di ΖΓ. Ora, se ogni quadrante rotolando descrive una linea uguale, è chiaro che l'intero cerchio descriverà anch'esso una linea uguale e corrispondente al movimento dell'intera circonferenza. In questo modo, quando il tratto di circonferenza BH raggiunge il punto K, anche il tratto ΖΓ arriva in ZΛ; sarà lo stesso quando l'intero cerchio avrà compiuto un giro[259].

Parimenti, se io metto in movimento il cerchio grande, e fisso a esso il piccolo, con il centro in comune, AB e AΓ saranno perpendicolari e ortogonali, rispettivamente a HΘ e a ZI. Di conseguenza, quando una linea avrà percorso una distanza pari a HΘ, l'altra a ZI, e quando ZA sarà diventata di nuovo perpendicolare a ZΛ, e AH perpendicolare a HK, saranno nella posizione indicata all'inizio, cioè in Θ e in I. Ed è d'altra parte singolare che il cerchio maggiore percorra un tratto uguale a quello percorso dal minore, e viceversa, dato che il maggiore non aspetta il minore, così da rimanere fermo per un certo tempo nello stesso punto (entrambi si muovono invece con continuità in entrambi i casi), e dato che il minore non salta alcun punto[260].

Ed è inoltre sorprendente che il centro col suo movimento tracci una linea in un caso più lunga, in un altro

30 ἐκκυλίεσθαι θαυμαστόν. τὸ γὰρ αὐτὸ τῷ αὐτῷ τάχει φε-
ρόμενον ἴσην πέφυκε διεξιέναι· τῷ αὐτῷ δὲ τάχει ἴσην ἐστὶ
κινεῖν ἀμφοτεράκις. ἀρχὴ δὲ ληπτέα ἥδε περὶ τῆς αἰτίας
αὐτῶν, ὅτι ἡ αὐτὴ δύναμις καὶ ἴση τὸ μὲν βραδύτερον
κινεῖ μέγεθος, τὸ δὲ ταχύτερον. εἰ δή τι εἴη ὃ μὴ πέφυκεν
35 ὑφ' ἑαυτοῦ κινεῖσθαι, ἐὰν τοῦτο ἅμα καὶ αὐτὸ κινῇ τὸ πε-
φυκὸς κινεῖσθαι, βραδύτερον κινηθήσεται ἢ εἰ αὐτὸ καθ'
αὑτὸ ἐκινεῖτο. καὶ ἐὰν μὲν πεφυκὸς ᾖ κινεῖσθαι, μὴ συγ-
κινῆται δὲ μηθέν, ὡσαύτως ἕξει. καὶ ἀδύνατον δὴ κινεῖσθαι
πλέον ἢ τὸ κινοῦν· οὐ γὰρ τὴν αὑτοῦ κινεῖται κίνησιν, ἀλλὰ
856a τὴν τοῦ κινοῦντος. εἴη δὴ κύκλος ὁ μὲν μείζων ἐφ' ᾧ Α, ὁ δὲ
ἐλάττων ἐφ' ᾧ Β. εἰ ὠθοίη δ' ὁ ἐλάττων τὸν μείζω, μὴ
κυλιομένου αὐτοῦ, φανερὸν ὅτι τοσοῦτον δίεισι τῆς εὐθείας
ὁ μείζων, ὅσον ἐώσθη ὑπὸ τοῦ ἐλάττονος. τοσοῦτον δέ γε
5 ἐώσθη ὅσον ὁ μικρὸς ἐκινήθη. ἴσην ἄρα τῆς εὐθείας διελη-
λύθασιν. ἀνάγκη τοίνυν καὶ εἰ κυλιόμενος ὁ ἐλάττων τὸν
μείζω ὠθοίη, κυλισθῆναι μὲν ἅμα τῇ ὤσει, τοσοῦτον δ' ὅσον
ὁ ἐλάττων ἐκυλίσθη, εἰ μηθὲν αὐτὸς τῇ αὑτοῦ κινήσει κινεῖ-
ται. ὡς γὰρ καὶ ὅσον ἐκίνει τὸ κινοῦν, τοσοῦτον κεκινῆσθαι ἀνάγκη
10 τὸ κινούμενον ὑπ' ἐκείνου. ἀλλὰ μὴν ὅ τε κύκλος τοσοῦτον
ἐκίνησε τὸ αὐτό, κύκλῳ τε καὶ ποδιαίαν (ἔστω γὰρ τοσοῦ-
τον ὃ ἐκινήθη), καὶ ὁ μέγας ἄρα τοσοῦτον ἐκινήθη. ὁμοίως
δὲ κἂν ὁ μέγας τὸν μικρὸν κινήσῃ, ἔσται κεκινημένος ὁ μι-
κρὸς ὡς καὶ ὁ μείζων. καθ' αὑτὸν μὲν δὴ κινηθεὶς ὁποτε-
15 ρωσοῦν, ἐάν τε ταχὺ ἐάν τε βραδέως, τῷ αὐτῷ δὲ τάχει

più corta, pur essendo sempre uno solo il suo movimento. Una stessa cosa che si muove con la stessa velocità deve infatti per sua natura percorrere la stessa distanza; e metterla in movimento imprimendo la stessa velocità significa farle percorrere la stessa distanza, in entrambi i casi[261].

Per spiegare il motivo per cui ciò accade, bisogna partire da questo principio: la stessa forza, o una uguale, può mettere in movimento una massa più lentamente, e un'altra più rapidamente. Ammettiamo che ci sia un corpo che non abbia un movimento naturale proprio; se un altro corpo, dotato di un proprio movimento, lo trascina nel suo stesso movimento, esso si muoverà più lentamente che se si fosse mosso da sé. Sarebbe lo stesso, se fosse dotato di movimento, ma niente si muovesse insieme con esso. È certo impossibile che esso si muova più di ciò che lo mette in movimento, perché non ha un movimento proprio, ma solo quello del suo motore[262]. **856a**

Siano due cerchi: A più grande e B più piccolo. Se il più piccolo spinge il più grande, quando non gira, è chiaro che il più grande percorrerà quel tratto di retta lungo il quale è stato spinto dal più piccolo: spinto, percorre una distanza corrispondente al movimento del più piccolo; pertanto i due cerchi hanno percorso una parte uguale della traiettoria. Ancora, se il cerchio più piccolo rotola e spinge il più grande, necessariamente anche questo dovrà rotolare mentre viene spinto, per tutto il tratto in cui il più piccolo rotola, se il più grande non ha alcun movimento proprio[263].

Ciò che è mosso da un motore inevitabilmente si muove tanto quanto il suo motore. Così, al movimento impresso dal cerchio piccolo (che gira e percorre, poniamo, la distanza di un piede) corrisponde di fatto un pari movimento del cerchio grande. Allo stesso modo, se è il grande a muovere il cerchio piccolo, questo si muoverà come quello. Se quindi il cerchio maggiore si è mosso di moto autonomo, o velocemente o lentamente,

εὐθὺς ὅσην ὁ μείζων πέφυκεν ἐξελιχθῆναι γραμμήν. ὅπερ
καὶ ποιεῖ τὴν ἀπορίαν, ὅτι οὐκέτι ὁμοίως ποιοῦσιν ὅταν συν-
αρμοσθῶσιν. τὸ δ᾽ ἔστιν, εἰ ὁ ἕτερος ὑπὸ τοῦ ἑτέρου κινεῖ-
ται οὐχ ἣν πέφυκεν, οὐδὲ τὴν αὑτοῦ κίνησιν. οὐθὲν γὰρ
20 διαφέρει περιθεῖναι καὶ ἐναρμόσαι ἢ προσθεῖναι ὁποτερονοῦν
ὁποτέρῳ· ὁμοίως γάρ, ὅταν ὁ μὲν κινῇ ὁ δὲ κινῆται ὑπὸ
τούτου, ὅσον ἂν κινῇ ἅτερος, τοσοῦτον κινηθήσεται ἅτερος.
ὅταν μὲν οὖν προσκείμενον κινῇ ἢ προσκρεμάμενον, οὐκ ἀεὶ
κυλίει τις· ὅταν δὲ περὶ τὸ αὐτὸ κέντρον τεθῶσιν, ἀνάγκη
25 κυλίεσθαι ἀεὶ τὸν ἕτερον ὑπὸ τοῦ ἑτέρου. ἀλλ᾽ οὐθὲν ἧττον
οὐ τὴν αὑτοῦ κίνησιν ἅτερος κινεῖται, ἀλλ᾽ ὥσπερ ἂν εἰ μη-
δεμίαν εἶχε κίνησιν. κἂν ἔχῃ, μὴ χρῆται δ᾽ αὐτῇ, ταὐτὸ
συμβαίνει. ὅταν μὲν οὖν ὁ μέγας κινῇ ἐνδεδεμένον τὸν μι-
κρόν, ὁ μικρὸς κινεῖται ὅσηνπερ οὗτος· ὅταν δὲ ὁ μικρός,
30 πάλιν ὁ μέγας ὅσην οὗτος. χωριζόμενος δὲ ἑκάτερος αὑτὸν
κινεῖ αὐτός. ὅτι δὲ τοῦ αὐτοῦ κέντρου ὄντος καὶ κινοῦντος
τῷ αὐτῷ τάχει συμβαίνει ἄνισον διεξιέναι αὐτοὺς γραμ-
μήν, παραλογίζεται ὁ ἀπορῶν σοφιστικῶς. τὸ αὐτὸ μὲν
γάρ ἐστι κέντρον ἀμφοῖν, ἀλλὰ κατὰ συμβεβηκός, ὡς
35 μουσικὸν καὶ λευκόν· τὸ γὰρ εἶναι ἑκατέρου κέντρον τῶν
κύκλων οὐ τῷ αὐτῷ χρῆται. ὅταν μὲν οὖν ὁ κινῶν ᾖ ὁ
μικρός, ὡς ἐκείνου κέντρον καὶ ἀρχή, ὅταν δὲ ὁ μέγας, ὡς
ἐκείνου. οὔκουν τὸ αὐτὸ κινεῖ ἁπλῶς, ἀλλ᾽ ἔστιν ὥς.

con la stessa velocità il minore traccerà senz'altro una linea della stessa lunghezza di quella tracciata dal maggiore nel suo naturale movimento[264].

Proprio questo comportamento sollecita la questione: non è lo stesso, quando i due cerchi sono congiunti; cioè quando uno è mosso dall'altro secondo un movimento non naturale né autonomo. Non fa differenza quale dei due cerchi includa l'altro, oppure vi sia inserito o applicato: in ogni caso, al movimento impresso dall'uno corrisponde, nella stessa misura ed estensione, il movimento dell'altro[265].

Ora, quando si muova un cerchio a contatto con un altro, o ad esso attaccato, non lo si fa rotolare con continuità; se però i cerchi sono concentrici, necessariamente uno sarà fatto sempre girare dall'altro; tuttavia uno dei due non avrà un proprio movimento e si comporterà proprio come se non avesse movimento alcuno. Lo stesso si verifica nel caso che abbia un movimento, ma non lo metta in atto. Allora, quando il cerchio grande muove quello piccolo, con esso strettamente collegato, il piccolo si muove quanto l'altro; quando succede l'inverso, è invece il grande a muoversi quanto il piccolo; ma se i due cerchi sono separati, ognuno ha il proprio movimento[266].

Se poi si obietta che i due cerchi tracciano una linea non uguale, pur essendo il centro e la velocità gli stessi, si fa un ragionamento sbagliato e capzioso. È vero che il centro è lo stesso per entrambi, ma solo per accidente, proprio come qualcosa potrebbe essere 'musico' e 'bianco' nello stesso tempo: il fatto che i due cerchi abbiano lo stesso centro non ha lo stesso valore nei due casi[267].

In conclusione, quando è il cerchio piccolo a imprimere il movimento, il centro e l'origine del movimento sono da considerare suoi; quando è il cerchio grande a imprimerlo, essi appartengono a questo. In breve: ciò che determina il movimento non è lo stesso in assoluto, ma solo in un certo senso[268].

25 Διὰ τί τὰς κλίνας ποιοῦσι διπλασιοπλεύρους, τὴν μὲν
856b ἓξ ποδῶν καὶ μικρῷ μείζω πλευράν, τὴν δὲ τριῶν; καὶ
διὰ τί ἐντείνουσιν οὐ κατὰ διάμετρον; ἢ τὸ μὲν μέγεθος τη-
λικαύτας, ὅπως τοῖς σώμασιν ὦσι σύμμετροι; γίνονται
γὰρ οὕτω διπλασιόπλευροι, τετραπήχεις μὲν τὸ μῆκος, δι-
5 πήχεις δὲ τὸ πλάτος. ἐντείνουσι δὲ οὐ κατὰ διάμετρον ἀλλ᾽
ἀπ᾽ ἐναντίας, ὅπως τά τε ξύλα ἧττον διασπᾶται· τάχιστα
γὰρ σχίζεται κατὰ φύσιν διαιρούμενα ταύτῃ, καὶ ἑλκό-
μενα πονεῖ μάλιστα. ἔτι ἐπειδὴ δεῖ βάρος δύνασθαι τὰ
σπαρτία φέρειν, οὕτως ἧττον πονέσει λοξοῖς τοῖς σπαρτίοις
10 ἐπιτιθεμένου τοῦ βάρους ἢ πλαγίοις. ἔτι δὲ ἔλαττον οὕτω
σπαρτίον ἀναλίσκεται. ἔστω γὰρ κλίνη ἡ ΑΖΗΙ, καὶ δί-
χα διῃρήσθω ἡ ΖΗ κατὰ τὸ Β. ἴσα δὴ τρυπήματά ἐστιν
ἐν τῇ ΖΒ καὶ ἐν τῇ ΖΑ. καὶ γὰρ αἱ πλευραὶ ἴσαι εἰσίν·
ἡ γὰρ ὅλη ΖΗ διπλασία ἐστίν. ἐντείνουσι δ᾽ ὡς γέγραπται,
15 ἀπὸ τοῦ Α ἐπὶ τὸ Β, εἶτα οὗ τὸ Γ, εἶτα οὗ τὸ Δ, εἶτα οὗ
τὸ Θ, εἶτα οὗ τὸ Ε. καὶ οὕτως ἀεί, ἕως ἂν εἰς γωνίαν
καταστρέψωσιν ἄλλην· δύο γὰρ ἔχουσι γωνίαι τὰς ἀρχὰς
τοῦ σπαρτίου. ἴσα δέ ἐστι τὰ σπαρτία κατὰ τὰς κάμψεις,
τό τε ΑΒ καὶ ΒΓ τῷ ΓΔ καὶ ΔΘ. καὶ τὰ ἄλλα δὲ
20 τὰ τοιαῦτά ἐστιν, ὅτι οὕτως ἔχει ἡ αὐτὴ ἀπόδειξις. ἡ μὲν
γὰρ ΑΒ τῇ ΕΘ ἴση· ἴσαι γάρ εἰσιν αἱ πλευραὶ τοῦ ΒΗΚ
Α χωρίου, καὶ τὰ τρυπήματα ἴσα διέστηκεν. ἡ δὲ ΒΗ ἴση
τῇ ΚΑ· ἡ γὰρ Β γωνία ἴση τῇ Η. ἐν ἴσοις γὰρ ἡ μὲν
ἐκτός, ἡ δὲ ἐντός· καὶ ἡ μὲν Β ἐστὶν ἡμίσεια ὀρθῆς· ἡ
25 γὰρ ΖΒ ἴση τῇ ΖΑ· καὶ γωνία δὲ ἡ κατὰ τὸ Ζ ὀρθή. ἡ
δὲ Β γωνία ἴση τῇ κατὰ τὸ Η· ἡ γὰρ κατὰ τὸ Ζ ὀρθή,
ἐπειδὴ διπλασιόπλευρον τὸ ἑτερόμηκες καὶ πρὸς μέσον κέ-
κλασται. ὥστε ἡ ΒΓ τῇ ΕΗ ἴση. ταύτῃ δὲ ἡ ΚΘ· παράλ-

25. Perché si fanno i letti con i lati nel rapporto di uno a due — un lato è lungo sei piedi, o poco di più, e l'altro **856b** tre? E perché non si tendono le corde secondo la diagonale? Si fanno forse i letti di questa misura (due lati sono lunghi il doppio degli altri due: la lunghezza è cioè di quattro cubiti e la larghezza di due), perché siano giusti per una corporatura media?[269]

Le corde non sono tese nel senso della diagonale, ma si fanno passare da parte a parte, in modo che le assi di legno siano meno soggette a rompersi; esse si spaccano infatti più facilmente, se vengono divise in questo modo, secondo la direzione naturale: sottoposte a trazione subiscono una considerevole sollecitazione. Inoltre, le corde devono essere in grado di sostenere il peso; pertanto, se il peso grava su corde disposte trasversalmente, piuttosto che diagonalmente, la sollecitazione sarà minore. In questo modo si spreca anche meno corda[270].

Sia AZHI il letto[271], e si divida in due la linea ZH, in B. Il numero dei fori in ZB e in ZA è uguale: questi lati sono uguali, perché tutta la linea ZH è il doppio. Si tendono le corde, come nel disegno, cioè da A a B, poi in Γ, poi in Δ, poi in Θ, poi in E, e così di seguito, fino a che si gira verso l'altro angolo, dato che due sono gli angoli da cui partono le corde[272].

La lunghezza delle corde nelle curvature è uguale: AB - BΓ sono uguali a ΓΔ - ΔΘ; e così via: vale sempre la stessa descrizione. Così, AB è uguale a EΘ, perché i lati (opposti) del parallelogramma BHKA sono uguali, e i fori si trovano alla stessa distanza. BH è uguale a KA, perché l'angolo in B è uguale all'angolo in H: l'uno è l'angolo esterno, l'altro l'angolo interno corrispondente; l'angolo in B è la metà di un angolo retto, perché ZB è uguale a ZA e l'angolo in Z è un angolo retto. Ancora, l'angolo in B è uguale all'angolo in H, poiché l'angolo in Z è un angolo retto, in quanto il rettangolo ha un lato doppio dell'altro ed è bisecato. Così, la linea BΓ è uguale a EH, come KΘ a EH, perché parallela; perciò BΓ è

ληλος γάρ. ὥστε ἡ ΒΓ ἴση τῇ ΚΘ. ἡ δὲ ΓΕ τῇ ΔΘ.
30 ὁμοίως δὲ καὶ αἱ ἄλλαι δείκνυνται ὅτι ἴσαι εἰσὶν αἱ κατὰ τὰς κάμψεις δύο ταῖς δυσίν. ὥστε δῆλον ὅτι τὰ τηλικαῦτα σπαρτία ὅσον τὸ ΑΒ, τέσσαρα τοσαῦτ᾽ ἔνεστιν ἐν τῇ κλίνῃ· ὅσον δ᾽ ἐστὶ τὸ πλῆθος τῶν ἐν τῇ ΖΗ πλευρᾷ τρυπημάτων, καὶ ἐν τῷ ἡμίσει τῷ ΖΒ τὰ ἡμίση. ὥστε ἐν τῇ ἡμισείᾳ
35 κλίνῃ τηλικαῦτα μεγέθη σπαρτίων ἐστὶν ὅσον τῷ ΒΑ ἔνεστι, τοσαῦτα δὲ τὸ πλῆθος ὅσαπερ ἐν τῷ ΒΗ τρυπήματα. ταῦτα δὲ οὐδὲν διαφέρει λέγειν ἢ ὅσα ἐν τῇ ΑΖ καὶ ΒΖ τὰ συνάμφω. εἰ δὲ κατὰ διάμετρον ἐνταθῇ τὰ σπαρτία, ὡς ἐν τῇ ΑΒΓΔ κλίνῃ ἔχει, τὰ ἡμίσεά εἰσιν οὐ τοσαῦτα
857a ὅσα αἱ πλευραὶ ἀμφοῖν, αἱ ΑΖ ΖΒ· τὰ ἴσα δέ, ὅσα ἐν τῷ ΖΒΖΑ τρυπήματα ἔνεστιν. μείζονες δέ εἰσιν αἱ ΑΖ ΒΖ δύο οὖσαι τῆς ΑΒ. ὥστε καὶ τὸ σπαρτίον μεῖζον τοσούτῳ ὅσον αἱ πλευραὶ ἄμφω μείζους εἰσὶ τῆς διαμέτρου.
5 26 Διὰ τί χαλεπώτερον τὰ μακρὰ ξύλα ἀπ᾽ ἄκρου φέρειν ἐπὶ τῷ ὤμῳ ἢ κατὰ τὸ μέσον, ἴσου τοῦ βάρους ὄντος; πότερον ὅτι σαλευομένου τοῦ ξύλου τὸ ἄκρον κωλύει φέρειν, μᾶλλον ἀντισπῶν τῇ σαλεύσει τὴν φοράν; ἢ κἂν μηθὲν κάμπτηται μηδ᾽ ἔχῃ πολὺ μῆκος, ὅμως χαλεπώ-
10 τερον φέρειν ἀπ᾽ ἄκρου; ἀλλ᾽ ὅτι καὶ ῥᾷον αἴρεται ἐκ μέσου ἢ ἀπ᾽ ἄκρου, διὰ τὸ αὐτὸ καὶ φέρειν οὕτω ῥᾴδιον. αἴτιον δὲ ὅτι ἐκ μέσου μὲν αἰρόμενον ἀεὶ ἐπικουφίζει ἄλληλα τὰ ἄκρα, καὶ θάτερον μέρος τὸ ἐπὶ θάτερον εὖ αἴρει. ὥσπερ γὰρ κέντρον γίνεται τὸ μέσον, ᾗ ἔχει τὸ αἶρον ἢ
15 φέρον. εἰς τὸ ἄνω οὖν κουφίζεται ἑκάτερον τῶν ἄκρων εἰς τὸ κάτω ῥέπον. ἀπὸ δὲ τοῦ ἄκρου αἰρόμενον ἢ φερόμενον οὐ ποιεῖ τοῦτο, ἀλλ᾽ ἅπαν τὸ βάρος ῥέπει ἐφ᾽ ἕν. ἔστω μέσον τοῦ ξύλου ὅπερ αἴρεται ἢ φέρεται ἐφ᾽ οὗ Α, ἄκρα ἐφ᾽ ὧν ΒΓ.

uguale a ΚΘ, e ΓΕ a ΔΘ. Similmente si può dimostrare che sono uguali le altre parti del lato, corrispondenti alla curvatura delle corde, due a due[273].

È chiaro pertanto che nel letto ci sono quattro corde lunghe quanto AB; inoltre in ZB che è la metà del lato ci sarà esattamente la metà dei fori che si trovano nel lato ZH. Pertanto, in una metà del letto ci sono corde lunghe quanto BA, e il loro numero corrisponde a quello dei fori in BH, oppure (si potrebbe dire lo stesso) alla somma delle corde presenti in AZ e BZ. Se invece le corde fossero tese secondo la diagonale, come nel letto ΑΒΓΔ, le metà non corrispondono ad AZ e ZB, sui due lati; c'è invece **857a** corrispondenza col numero dei fori in ZB ZA. D'altra parte AZ BZ, che sono due linee, sono maggiori della sola linea AB; così anche la corda è di tanto più lunga, di quanto maggiori della diagonale sono i due lati insieme[274].

26. Perché è più difficile portare sulle spalle lunghi pezzi di legno sostenendoli per un'estremità, piuttosto che nel mezzo, pur se il peso è lo stesso?[275]

Forse perché il legno oscilla e la sua estremità ostacola il trasporto, dato che l'oscillazione lo contrasta ancora di più?[276] Ma non c'è forse da considerare che è difficile trasportarlo sostenendolo all'estremità, anche se non si piega affatto e non è molto lungo?

In realtà è più facile portarlo se si prende nel mezzo, per lo stesso motivo per cui è anche più facile sollevarlo se si prende in questo modo, invece che all'estremità[277]. La causa sta nel fatto che, se si prende nel mezzo, le estremità si alleggeriscono reciprocamente, e ciascuna parte aiuta a sollevare l'altra. Il punto di mezzo, dove si solleva o si porta, diventa di fatto un centro; così, ciascuna delle due estremità abbassandosi alleggerisce e fa sollevare l'altra. Non si ha questo effetto, se il legno viene sollevato o portato tenendolo per un'estremità: tutto il peso tende allora da una parte sola.[278]

Sia A la parte centrale del legno che viene sollevato o portato, e siano B e Γ le estremità. Se il legno è sollevato

αἱρομένου οὖν ἢ φερομένου κατὰ τὸ Α, τὸ μὲν Β κάτω
20 ῥέπον ἄνω αἴρει τὸ Γ, τὸ δὲ Γ κάτω ῥέπον τὸ Β ἄνω αἴρει·
ἅμα δὲ αἱρόμενα ἄνω ποιεῖ ταῦτα.

27 Διὰ τί, ἐὰν ᾖ λίαν μακρὸν τὸ αὐτὸ βάρος, χαλε-
πώτερον φέρειν ἐπὶ τοῦ ὤμου, κἂν μέσον φέρῃ τις, ἢ ἐὰν
ἔλαττον ᾖ; πάλαι ἐλέχθη ὡς οὐκ ἔστιν αἴτιον ἡ σάλευσις·
25 ἀλλ' ἡ σάλευσις νῦν αἴτιόν ἐστιν. ὅταν γὰρ ᾖ μακρότερον,
τὰ ἄκρα σαλεύεται, ὥστε εἴη ἂν καὶ τὸν φέροντα χαλε-
πώτερον φέρειν μᾶλλον. αἴτιον δὲ τοῦ σαλεύεσθαι μᾶλλον,
ὅτι τῆς αὐτῆς κινήσεως οὔσης μεθίσταται τὰ ἄκρα, ὅσῳπερ
ἂν ᾖ μακρότερον τὸ ξύλον. ὁ μὲν γὰρ ὦμος κέντρον, ἐφ'
30 οὗ τὸ Α (μένει γὰρ τοῦτο), αἱ δὲ ΑΒ καὶ ΑΓ αἱ ἐκ τοῦ
κέντρου. ὅσῳ δ' ἂν ᾖ μεῖζον τὸ ἐκ τοῦ κέντρου ἢ τὸ ΑΒ
ἢ καὶ τὸ ΑΓ, πλέον μεθίσταται μέγεθος. δέδεικται δὲ
τοῦτο πρότερον.

28 Διὰ τί ἐπὶ τοῖς φρέασι τὰ κηλώνεια ποιοῦσι τοῦτον τὸν
35 τρόπον; προστιθέασι γὰρ βάρος ἐν τῷ ξύλῳ τὸν μόλιβδον,
ὄντος βάρους τοῦ κάδου αὐτοῦ, καὶ κενοῦ καὶ πλήρους ὄντος.
ἢ ὅτι ἐν δυσὶ χρόνοις διῃρημένου τοῦ ἔργου (βάψαι γὰρ δεῖ,
καὶ τοῦτ' ἄνω ἑλκύσαι) συμβαίνει καθιέναι μὲν κενὸν ῥᾳ-
857b δίως, αἴρειν δὲ πλήρη χαλεπῶς; λυσιτελεῖ οὖν μικρῷ βρα-
δύτερον εἶναι τὸ καταγαγεῖν πρὸς τὸ πολὺ κουφίσαι τὸ
βάρος ἀνάγοντι. τοῦτο οὖν ποιεῖ ἐπ' ἄκρῳ τῷ κηλωνείῳ ὁ
μόλιβδος προσκείμενος ἢ ὁ λίθος. καθιμῶντι μὲν γὰρ γί-
5 νεται βάρος μεῖζον ἢ εἰ μόνον κενὸν δεῖ κατάγειν τὸν κά-
δον· ὅταν δὲ πλήρης ᾖ, ἀνάγει ὁ μόλιβδος, ἢ ὅ τι ἂν ᾖ
τὸ προσκείμενον βάρος. ὥστ' ἐστὶ ῥᾴονα οὕτω τὰ ἄμφω
ἢ ἐκείνως.

29 Διὰ τί, ὅταν φέρωσιν ἐπὶ ξύλου ἤ τινος τοιούτου δύο
10 ἄνθρωποι ἴσον βάρος, οὐχ ὁμοίως θλίβονται, ἐὰν μὴ ἐπὶ

o portato nel punto A, B si abbassa e alza Γ; a sua volta Γ abbassandosi alza B: questo è il risultato se si sollevano contemporaneamente[279].

27. Perché è difficile portare sulle spalle un oggetto molto lungo più di uno corto, anche se il peso è lo stesso, e se è sostenuto nel mezzo?

Si è detto che ciò non è dovuto all'oscillazione, nel caso precedente; ora invece proprio essa ne è la causa. Le estremità di un oggetto oscillano di più, quando è lungo; di conseguenza aumenta la difficoltà per chi lo porta. Il motivo della maggiore oscillazione sta nel fatto che le estremità si spostano quanto più il pezzo di legno è lungo, pur essendo il suo movimento lo stesso[280].

La spalla è il centro[281], cioè il punto A che rimane fermo, AB e AΓ sono i raggi. A una maggiore distanza dal centro del tratto AB o AΓ, corrisponde una maggiore ampiezza del movimento. Questo è stato dimostrato in precedenza[282].

28. Perché si costruiscono in questo modo i bilancieri presso i pozzi, aggiungendo un peso di piombo alla barra di legno? D'altra parte, il secchio ha di per sé un peso, sia vuoto sia pieno.[283]

Forse perché l'operazione consta di due momenti distinti (bisogna immergere il secchio e poi tirarlo su), ed è facile far scendere il secchio vuoto, ma è difficile tirarlo su pieno? **857b** Farlo scendere un po' più lentamente è allora di aiuto, per alleggerire di molto il peso, quando esso viene tirato su. Si riesce a far questo con l'aggiunta di un peso di piombo o di una pietra all'estremità del bilanciere. Quando il secchio viene calato, il peso risulta in questo modo maggiore che se si dovesse mandar giù soltanto il secchio vuoto; ma quando è pieno, lo tira su il peso di piombo, o qualsiasi altro peso aggiunto: così, le due operazioni sono più facili che se si facesse altrimenti[284].

29. Perché, quando due uomini portano un peso uguale su una tavola di legno o su qualcosa di simile, non av-

τῷ μέσῳ ᾖ τὸ βάρος, ἀλλὰ μᾶλλον ὅσῳ ἂν ἐγγύτερον ᾖ τῶν φερόντων; ἢ διότι μοχλὸς μὲν γίνεται οὕτως ἐχόντων τὸ ξύλον, τὸ δὲ βάρος ὑπομόχλιον, ὁ δὲ ἐγγύτερος τοῦ βάρους τῶν φερόντων τὸ βάρος τὸ κινούμενον, ἅτερος δὲ
15 τῶν φερόντων τὸ βάρος ὁ κινῶν. ὅσῳ γὰρ πλέον ἀπέχει τοῦ βάρους, τοσούτῳ ῥᾷον κινεῖ, καὶ θλίβει μᾶλλον τὸν ἕτερον εἰς τὸ κάτω, ὥσπερ ἀντερείδοντος τοῦ βάρους τοῦ ἐπικειμένου καὶ γινομένου ὑπομοχλίου. ἐν μέσῳ δὲ ὑποκειμένου τοῦ βάρους, οὐδὲν μᾶλλον ἅτερος θατέρῳ γίνεται βάρος, οὐδὲ
20 κινεῖ, ἀλλ᾽ ὁμοίως ἑκάτερος ἑκατέρῳ γίνεται βάρος.

30 Διὰ τί οἱ ἀνιστάμενοι πάντες πρὸς ὀξεῖαν γωνίαν τῷ μηρῷ ποιήσαντες τὴν κνήμην ἀνίστανται, καὶ τῷ θώρακι πρὸς τὸν μηρόν; εἰ δὲ μή, οὐκ ἂν δύναιντο ἀναστῆναι. πότερον ὅτι τὸ ἴσον ἠρεμίας πανταχοῦ αἴτιον, ἡ δὲ ὀρθὴ γωνία
25 τοῦ ἴσου, καὶ ποιεῖ στάσιν· διὸ καὶ φέρεται πρὸς ὁμοίας γωνίας τῇ περιφερείᾳ τῆς γῆς. οὐ γὰρ ὅτι καὶ πρὸς ὀρθὴν ἔσται τῷ ἐπιπέδῳ. ἢ ὅτι ἀνιστάμενος γίνεται ὀρθός, ἀνάγκη δὲ τὸν ἑστῶτα κάθετον εἶναι πρὸς τὴν γῆν. εἰ οὖν μέλλει ἔσεσθαι πρὸς ὀρθήν, τοῦτο δέ ἐστι τὸ τὴν κεφαλὴν ἔχειν
30 κατὰ τοὺς πόδας, καὶ γίνεσθαι δὴ ὅτε ἀνίσταται. ὅταν μὲν οὖν καθήμενος ᾖ, παράλληλον ἔχει τὴν κεφαλὴν καὶ τοὺς πόδας, καὶ οὐκ ἐπὶ μιᾶς εὐθείας. ἡ κεφαλὴ Α ἔστω, θώραξ ΑΒ, μηρὸς ΒΓ, κνήμη ΓΔ. πρὸς ὀρθὴν δὲ γίνεται ὅ τε θώραξ ἐφ᾽ οὗ ΑΒ τῷ μηρῷ καὶ ὁ μηρὸς τῇ κνήμῃ
35 οὕτως καθημένῳ. ὥστε οὕτως ἔχοντα ἀδύνατον ἀναστῆναι. ἀνάγκη δὲ ἐγκλῖναι τὴν κνήμην καὶ ποιεῖν τοὺς πόδας ὑπὸ τὴν κεφαλήν. τοῦτο δὲ ἔσται, ἐὰν ἡ ΓΔ ἐφ᾽ ἧς τὰ ΓΖ γένηται, καὶ ἅμα ἀναστῆναι συμβήσεται, καὶ ἔχειν ἐπὶ
858a τῆς αὐτῆς ἴσης τὴν κεφαλήν τε καὶ τοὺς πόδας. ἡ δὲ ΓΖ ὀξεῖαν ποιεῖ γωνίαν πρὸς τὴν ΒΓ.

vertono la pressione allo stesso modo, a meno che il peso non stia in mezzo, ma lo avverte di più il portatore che sia più vicino al peso?[285]

Il motivo è che la tavola di legno, in questa situazione, fa da leva; il peso fa da fulcro; il portatore più vicino al carico è il peso da spostare, mentre l'altro è chi lo sposta: quanto più quest'ultimo è distante dal peso, tanto più facilmente lo sposta, e fa sentire all'altro una pressione verso il basso, come se il carico che sta sopra e che fa da fulcro opponesse resistenza. Quando invece il peso è posto in mezzo, un portatore non fa da peso più dell'altro, e non fa neppure da motore: al contrario ognuno costituisce un peso per l'altro nella stessa misura[286].

30. Perché, nell'alzarci la nostra gamba forma sempre un angolo acuto con la coscia, e questa col tronco? Diversamente, non possiamo alzarci[287].

Forse perché la condizione di parità comporta sempre uno stato di quiete, e l'angolo retto rappresenta equilibrio e causa immobilità[288]; così nell'alzarsi, l'uomo si porta verso una posizione in cui forma angoli uguali con la superficie della terra: non sarà dunque anche ad angolo retto con il suolo?[289]

Oppure perché chi si alza assume la posizione eretta, e in questa posizione è di necessità perpendicolare al terreno? Allora, se dovrà stare così, significa che avrà la testa in linea con i piedi, e questo succede quando si alza. Quando invece è seduto, ha la testa parallela ai piedi, e non su un'unica linea retta[290].

Sia A la testa[291], AB il tronco, BΓ la coscia, ΓΔ la gamba. Il tronco AB forma un angolo retto con la coscia, e la coscia con la gamba, quando l'uomo è seduto; pertanto, stando in questa posizione non può alzarsi: deve invece piegare le gambe e portare i piedi sotto la testa. Sarà così, se ΓΔ prenderà la posizione di ΓZ; l'uomo si alzerà non appena avrà la testa e i piedi sulla stessa linea retta. Ora, ΓZ forma un angolo acuto con BΓ. **858a**

31 Διὰ τί ῥᾷον κινεῖται τὸ κινούμενον ἢ τὸ μένον, οἷον τὰς ἁμάξας θᾶττον κινουμένας ὑπάγουσιν ἢ ἀρχομένας;
5 ἢ ὅτι χαλεπώτατον μὲν τὸ εἰς τοὐναντίον κινούμενον κινῆσαι βάρος; ἀφαιρεῖται γάρ τι τῆς τοῦ κινοῦντος δυνάμεως, κἂν πολὺ θᾶττον ᾖ· ἀνάγκη γὰρ βραδυτέραν γίνεσθαι τὴν ὦσιν τοῦ ἀντωθουμένου. δεύτερον δέ, ἐὰν ἠρεμῇ· ἀντιτείνει γὰρ καὶ τὸ ἠρεμοῦν. τὸ δὲ κινούμενον ἐπὶ τὸ αὐτὸ τῷ ὠθοῦντι ὅμοιον
10 ποιεῖ ὥσπερ ἂν εἰ αὐξήσειέ τις τὴν τοῦ κινοῦντος δύναμιν καὶ ταχυτῆτα· ὃ γὰρ ὑπ᾽ ἐκείνου ἂν ἔπασχε, τοῦτο αὐτὸ ποιεῖ εἰς τὸ πρὸ ὁδοῦ κινούμενον.

32 Διὰ τί παύεται φερόμενα τὰ ῥιφέντα; πότερον ὅταν λήγῃ ἡ ἰσχὺς ἡ ἀφεῖσα, ἢ διὰ τὸ ἀντισπᾶσθαι, ἢ διὰ
15 τὴν ῥοπήν, ἐὰν κρείττων ᾖ τῆς ἰσχύος τῆς ῥιψάσης; ἢ ἄτοπον τὸ ταῦτ᾽ ἀπορεῖν, ἀφέντα τὴν ἀρχήν.

33 Διὰ τί φέρεταί τι οὐ τὴν αὑτοῦ φοράν, μὴ ἀκολουθοῦντος καὶ ὠθοῦντος τοῦ ἀφέντος; ἢ δῆλον ὅτι ἐποίησε τοιοῦτον τὸ πρῶτον ὡς θάτερον ὠθεῖν, καὶ τοῦθ᾽ ἕτερον· παύεται δέ,
20 ὅταν μηκέτι δύνηται ποιεῖν τὸ προωθοῦν τὸ φερόμενον ὥστε ὠθεῖν, καὶ ὅταν τὸ τοῦ φερομένου βάρος ῥέπῃ μᾶλλον τῆς εἰς τὸ πρόσθεν δυνάμεως τοῦ ὠθοῦντος.

34 Διὰ τί οὔτε τὰ ἐλάττονα οὔτε τὰ μεγάλα πόρρω φέρεται ῥιπτούμενα, ἀλλὰ δεῖ συμμετρίαν τινὰ ἔχειν πρὸς
25 τὸν ῥιπτοῦντα; πότερον ὅτι ἀνάγκη τὸ ῥιπτούμενον καὶ ὠθούμενον ἀντερείδειν ὅθεν ὠθεῖται; τὸ δὲ μηθὲν ὑπεῖκον διὰ

31. Perché è facile muovere ciò che è già in movimento, più di ciò che sta fermo? Per esempio, un carro che si sta muovendo può essere tirato più agevolmente di un carro che comincia il suo movimento[292].

Forse perché è molto difficile imprimere un movimento a un peso che si muove in direzione contraria: qualcosa della forza motrice va perduto, anche se il motore è molto più veloce, perché la spinta del corpo che è spinto in direzione contraria deve per forza indebolirsi. Nel caso poi che l'oggetto sia fermo, si ha una difficoltà in più, perché anche ciò che è fermo oppone resistenza[293]. Quando invece un corpo viene mosso nella stessa direzione di ciò che lo spinge, si ha questo effetto: è come se venissero aumentate la forza e la velocità del motore, perché l'oggetto muovendosi in avanti fa già da sé quello che subirebbe per azione del motore che lo sospinge[294].

32. Perché gli oggetti lanciati alla fine si fermano?[295]

Forse il loro moto finisce quando si esaurisce la forza che li ha scagliati, oppure per la resistenza o per il peso, se ne risulta una forza maggiore di quella che ha causato il lancio?[296] Oppure non è il caso di discutere di questo, se si trascura il principio?[297]

33. Perché un corpo si muove di un moto non proprio, se la forza che lo ha lanciato non lo accompagna e non lo sospinge?[298]

Il perché è chiaro: la forza che dà il primo impulso determina anche la spinta di qualcos'altro e questo a sua volta di altro[299]. Il corpo allora si ferma, quando il primo impulso che lo mantiene in movimento non può più agire e spingerlo, e quando il peso del corpo in movimento costituisce una forza maggiore dell'impulso che lo spinge in avanti[300].

34. Perché gli oggetti lanciati, sia i piccoli sia i grandi, non vanno lontano, ma solo in proporzione al lancio cui sono stati sottoposti?[301]

Forse perché è inevitabile che un corpo lanciato o spinto opponga resistenza a ciò da cui è spinto?[302]

μέγεθος ἢ μηδὲν ἀντερεῖσαν δι' ἀσθένειαν οὐ ποιεῖ ῥῖψιν οὐδὲ ὦσιν. τὸ μὲν οὖν πολὺ ὑπερβάλλον τῆς ἰσχύος τῆς ὠθούσης οὐθὲν ὑπείκει, τὸ δὲ πολὺ ἀσθενέστερον οὐδὲν ἀν-
30 τερείδει. ἢ ὅτι τοσοῦτον φέρεται τὸ φερόμενον, ὅσον ἂν ἀέρα κινήσῃ εἰς βάθος; τὸ δὲ μηδὲν κινούμενον οὐδ' ἂν κινήσειεν οὐδέν. συμβαίνει δὴ ἀμφότερα τούτοις ἔχειν.
858b τό τε γὰρ σφόδρα μέγα καὶ τὸ σφόδρα μικρὸν ὥσπερ οὐθὲν κινούμενά ἐστι· τὸ μὲν γὰρ οὐθὲν κινεῖ, τὸ δ' οὐθὲν κινεῖται.

35 Διὰ τί τὰ φερόμενα ἐν τῷ δινουμένῳ ὕδατι εἰς τὸ
5 μέσον τελευτῶντα φέρονται ἅπαντα; πότερον ὅτι μέγεθος ἔχει τὸ φερόμενον, ὥστε ἐν δυσὶ κύκλοις εἶναι, τῷ μὲν ἐλάττονι τῷ δὲ μείζονι, ἑκάτερον αὐτοῦ τῶν ἄκρων. ὥστε περισπᾷ ὁ μείζων διὰ τὸ φέρεσθαι θᾶττον, καὶ πλάγιον ἀπωθεῖ αὐτὸ εἰς τὸν ἐλάττω. ἐπεὶ δὲ πλάτος ἔχει τὸ
10 φερόμενον, καὶ οὗτος πάλιν τὸ αὐτὸ ποιεῖ, καὶ ἀπωθεῖ εἰς τὸν ἐντός, ἕως ἂν εἰς τὸ μέσον ἔλθῃ. καὶ τότε μένει διὰ τὸ ὁμοίως ἔχειν πρὸς ἅπαντας τοὺς κύκλους τὸ φερόμενον, διὰ τὸ μέσον· καὶ γὰρ τὸ μέσον ἴσον ἀπέχει ἐν ἑκάστῳ τῶν κύκλων. ἢ ὅτι ὅσων μὲν μὴ κρατεῖ ἡ φορὰ τοῦ δινου-
15 μένου ὕδατος διὰ τὸ μέγεθος, ἀλλ' ὑπερέχει τῇ βαρύτητι τῆς τοῦ κύκλου ταχυτῆτος, ἀνάγκη ὑπολείπεσθαι καὶ βραδύτερον φέρεσθαι. βραδύτερον δὲ ὁ ἐλάττων κύκλος φέρεται· <οὐ> τὸ αὐτὸ γὰρ ἐν ἴσῳ χρόνῳ ὁ μέγας τῷ μικρῷ στρέ-

Tuttavia ciò che, a causa della propria grandezza, non cede affatto, o ciò che, a causa della sua esiguità, non oppone resistenza non determina né un lancio né una spinta. Allora, ciò che supera di molto la forza di ciò che lo spinge non cede affatto, mentre ciò che è molto più esiguo e debole non oppone alcuna resistenza. Oppure, forse perché l'oggetto in movimento può arrivare lontano solo nella misura in cui riesce a spostare l'aria in profondità? D'altra parte, ciò che non si muove affatto non potrà mettere in movimento niente[303].

Ecco, entrambe queste condizioni si verificano nei casi considerati: ciò che è eccessivamente grande o eccessivamente piccolo è come se non si muovesse affatto, perché quest'ultimo non può muovere niente, e l'altro non può essere mosso[304]. **858b**

35. Perché gli oggetti che si muovono in vortici d'acqua vanno sempre a finire nel mezzo?[305]

Forse perché l'oggetto che si muove ha una propria dimensione, così che viene a trovarsi in due cerchi, uno più piccolo e uno più grande, rispettivamente con ciascuna delle sue estremità? Di conseguenza, il cerchio più grande, che si muove più velocemente, lo trascina con sé e lo spinge lateralmente nel cerchio più piccolo. Poi, dato che l'oggetto in movimento ha una sua estensione, anche questo cerchio fa a sua volta lo stesso, e lo spinge nel cerchio interno, fino a che l'oggetto arriva nel mezzo, dove rimane, perché in questa posizione esso si trova nello stesso rapporto con tutti i cerchi: in ogni cerchio, il centro è equidistante dalla circonferenza[306]. Oppure perché tutti gli oggetti su cui il movimento vorticoso dell'acqua non può esercitare alcuna influenza a causa della loro dimensione (anzi sono essi ad avere la meglio sulla velocità del cerchio, per il loro peso) restano per forza indietro e vanno più lentamente?

Ora, il cerchio più piccolo si muove più lentamente, perché il cerchio grande e il cerchio piccolo non compiono la stessa rotazione in un tempo uguale, quando

φεται κύκλῳ, ὅταν ὦσι περὶ τὸ αὐτὸ μέσον. ὥστε εἰς τὸν
20 ἐλάττονα κύκλον ἀναγκαῖον ἀπολείπεσθαι, ἕως ἂν ἐπὶ τὸ
μέσον ἔλθῃ. ὅσων δὲ πρότερον κρατεῖ ἡ φορά, λήγουσα
ταὐτὸ ποιήσει. δεῖ γὰρ τὸν μὲν εὐθύ, τὸν δὲ ἕτερον κρα-
τεῖν τῇ ταχυτῆτι τοῦ βάρους, ὥστε εἰς τὸν ἐντὸς ἀεὶ κύκλον
ὑπολείπεσθαι πᾶν. ἀνάγκη γὰρ αὐτὸ ἐντὸς ἢ ἐκτὸς κινεῖ-
25 σθαι τὸ μὴ κρατούμενον. ἐν αὐτῷ δὴ τοίνυν ἐν ᾧ ἐστίν,
ἀδύνατον φέρεσθαι τὸ μὴ κρατούμενον. ἔτι δὲ ἧττον ἐν τῷ
ἐκτός· θάττων γὰρ ἡ φορὰ τοῦ ἐκτὸς κύκλου. λείπεται δὲ
εἰς τὸν ἐντὸς τὸ μὴ κρατούμενον μεθίστασθαι. ἀεὶ δὲ ἕκαστον
ἐπιδίδωσιν εἰς τὸ μὴ κρατεῖσθαι. ἐπεὶ δὲ πέρας τοῦ μὴ κι-
30 νεῖσθαι ποιεῖ τὸ εἰς μέσον ἐλθεῖν, μένει δὲ τὸ κέντρον μόνον,
ἅπαντα ἀνάγκη εἰς τοῦτο δὴ ἀθροίζεσθαι.

sono concentrici[307]. È inevitabile pertanto che l'oggetto sia lasciato sempre nel cerchio più piccolo, fino a quando arriva al centro. Nei casi in cui il movimento (dell'acqua) prevale (sull'oggetto) fin dall'inizio, determinerà lo stesso effetto, quando cessa: il primo cerchio subito e poi il successivo devono prevalere per la loro velocità sul peso dell'oggetto così che questo via via finisce sempre nel cerchio interno.

Un oggetto su cui l'acqua non prevale deve invece muoversi o dentro o fuori; tale oggetto non può certamente continuare a muoversi nel cerchio in cui si trova, e ancora meno nel cerchio esterno, che ruota più velocemente. A questo oggetto non rimane allora che passare nel cerchio interno; ora, ogni oggetto tende a non essere sopraffatto, ma poiché il raggiungimento della parte centrale rappresenta il limite oltre il quale non c'è più movimento, e solo il centro sta fermo, ogni oggetto deve convergere lì[308].

Nota critica

Il testo greco della *Meccanica* stampato a fronte è quello dell'ed. Bekker, da cui mi discosto in alcuni punti che elenco qui.

Bekker

848 a 29	Α	ΑΒ
848 b 21	Ζ	τὸ Ζ
849 a 13	εἰς τοὐναντίον, ἐπὶ τὸ μέσον	εἰς τοὐναντίον ἐπὶ τὸ μέσον,
849 a 16	κατὰ τὴν περιφέρειαν, τὴν δὲ παρὰ φύσιν	τὴν δὲ παρὰ φύσιν κατὰ τὴν περιφέρειαν
849 a 22	ΒΓΔΕ	ΒΓΕΔ
849 a 27	ΑΕ	ΑΒ
849 a 34	κάθετον	κάθετος
849 b 1	ἐνηνέχθη	ἠνέχθη
849 b 10	τῇ	τῷ
849 b 12	ἐν τῷ ἐφ᾽ οὗ Χ σημεῖον	ἐν ᾧ τὸ ἐφ᾽ οὗ Χ σημεῖον τὴν ΧΘ
849 b 13	κέντρον	ΚΗ
850 a 4	ἀφέλῃ	ἀφέλῃ <τις>
850 a 11	ὀρθὸν	ὀρθὸν τὸ
850 a 16	ζυγοῦ	ζυγοῦ τοῦ
850 a 17	ΑΒ	ΑΜ
850 a 17	τοῦ ἐν ᾧ ΦΠ, μείζω	τῷ ἐν ᾧ ΘΠ, μεῖζον
850 a 34	[ὧν]	ὧν
850 b 9	βάρος	βάρος,
851 a 1	δὲ ἐντός	μὲν εἰς τὸ ἐντός
851 a 22	τὸ Ζ ἢ τὸ Θ. ἄρα τοίνυν	τὸ Ζ. τὸ Θ ἄρα τέμνει
851 a 22	ἡ	ᾗ
851 a 24	καθεστηκὸς	μεθεστηκὸς
851 a 27	τὸ Α μὴ ἐχώρει	τὸ Α, μετεχώρει δὲ τὸ Α
852 a 24 s.	τὸ βαρύτερον μὲν μεῖζον δὲ τοῦ ἐλάττονος καὶ κουφοτέρου	τοῦ βαρυτέρου μὲν μείζονος δὲ τὸ ἔλαττον καὶ κουφότερον
853 a 29	ΖΔ	Ζ
853 b 34	πλάστιγγος	φάλαγγος
853 b 38	ἐστι, καὶ ὁ σταθμὸς	ἐστι καὶ ὁ σταθμός,

854 b 3	ἡ κρείττων	ἢ κρείττονα
854 b 4	ἡ τὸ	αἱ
854 b 13	τὸ	τὰ
854 b 23	Δ	Α
854 b 36	ΑΓ	ΒΓ
855 a 6	μὲν	μὲν ΑΔ
855 a 11	αὐτὴ	αὐτὸ
855 b 4	δὲ ἐλάττων	δὲ τῇ, ᾗν ὁ ἐλάττων
855 b 8	ΑΖ	ΖΛ
855 b 22	ΑΓ	ΑΗ
855 b 22	πάλιν	πάλιν πρὸς τὴν ΗΚ
855 b 24	τὸ μεῖζον	τοῦ μείζονος
855 b 36	αὐτὴ	αὐτὸ
855 b 37	αὐτὴν	αὐτὸ
856 a 1	τὸ Α	ἐφ' ᾧ Α
856 a 8	αὐτῇ	αὐτοῦ
856 a 9	ἐκίνει	ἐκίνει τὸ κινοῦν
856 a 14	ὁποτεροσοῦν	ὁποτερωσοῦν
856 a 15	βραδέως·	βραδέως,
856 a 35	κέντρου	κέντρον
856 b 28	ΑΓ	ΒΓ
857 a 1	ΖΗ	ΖΒ
857 a 10 s.	ἀπ' ἄκρου ἢ ἐκ μέσου	ἐκ μέσου ἢ ἀπ' ἄκρου
857 a 17 s.	ἐφ' ἓν μέσον, εἰς ὅπερ αἴρεται ἢ φέρεται. ἔστω μέσον ἐφ' οὗ Α, ἄκρα ΒΓ	ἐφ' ἕν. ἔστω μέσον τοῦ ξύλου ὅπερ αἴρεται ἢ φέρεται ἐφ' οὗ Α, ἄκρα ἐφ' ὧν ΒΓ
857 b 7	ῥᾷον αὐτῷ	ῥᾴονα οὕτω
857 b 8	ἐκείνῳ	ἐκείνως
857 b 34	[ἐφ' ὧν ΑΒ]	ἐφ' οὗ ΑΒ
858 a 29	ἀνερείδει	ἀντερείδει
858 b 2	αὐτὸ καθ' ἓν	οὐθὲν
858 b 18	τὸ αὐτὸ	<οὐ> τὸ αὐτὸ

Note al testo

[1] La prima parola di questo trattato rinvia direttamente alla funzione riconosciuta alla 'meraviglia' (concetto che implica il vivo interesse, la curiosità, l'ammirazione) nella cultura greca, in quanto stimolo necessario e preliminare di ogni indagine, e atteggiamento che accompagna costantemente il lavoro di ricerca. Socrate, nel *Teeteto* (155 d) di Platone, definisce il *thaumazein* un *pathos* tipico del filosofo; Aristotele conferma questa connessione nella *Metafisica*: «gli uomini hanno cominciato a filosofare, ora come in origine, a causa della meraviglia: mentre da principio restavano meravigliati di fronte alle difficoltà più semplici, in seguito, progredendo a poco a poco, giunsero a porsi problemi sempre maggiori: per esempio i problemi riguardanti i fenomeni della luna e quelli del sole e degli astri, o i problemi riguardanti la generazione dell'intero universo. Ora, chi prova un senso di dubbio e di meraviglia riconosce di non sapere; ed è per questo che anche colui che ama il mito è, in un certo qual modo, filosofo: il mito infatti è costituito da un insieme di cose che destano meraviglia» (A 2, 982 b 12-19). Il *thauma idesthai* della poesia diventa nella riflessione filosofica un *pathos* ricco di positivi traguardi e tensioni; sarà Aristotele a saldare definitivamente, anche in questo ambito, esperienza poetica e esperienza filosofica.

L'*incipit* del trattato appare in significativo rapporto con le considerazioni introduttive della *Metafisica*, sia nel riconoscere valore 'filosofico' alla meraviglia, sia nell'affiancare al collegamento tra meraviglia e sapere, quello fra *techne* e utilità. Cfr. *Retorica* I 11, 1371 a 31-b 9 («imparare e ammirare sono per lo più cose piacevoli, perché nell'ammirare è insito il desiderio di imparare – e di conseguenza ciò che è oggetto di ammirazione lo è anche di desiderio –, nell'imparare un riferirsi a una condizione naturale [...] E poiché imparare e ammirare sono cose piacevoli, deve inevitabilmente esserlo anche ciò che è analogo, come l'imitazione – il disegno, ad esempio, la scultura, la poesia – e tutto quello che venga imitato bene, anche nel caso in cui l'oggetto dell'imitazione non sia di per sé piacevole, perché non è lui che provoca godimento, ma la deduzione che questo corrisponde a quello, e il risultato è che si impara qualcosa»); *Poetica* 4, 1448 b 4-19.

Nei commenti del Cinquecento e del Seicento è proposto talvolta un elenco dei fenomeni atti a suscitare meraviglia (fulmini, tempeste, terremoti, eclissi, comete, inondazioni ...), quasi tutti compresi negli

eventi naturali; in realtà, la 'meraviglia' antica è suscitata da una più ampia serie di effetti e di esperienze, e non appartiene solo al 'volgo', come testimonia bene un passo della *Metafisica*: «tutti cominciano dal meravigliarsi che le cose stiano in un determinato modo: così, ad esempio, di fronte alle marionette che si muovono da sé nelle rappresentazioni, o di fronte alle rivoluzioni del sole o alla incommensurabilità della diagonale al lato: infatti, a tutti coloro che non hanno ancora conosciuto la causa, fa meraviglia che fra l'una e l'altro non vi sia una unità minima di misura comune. Invece, bisogna pervenire allo stato di animo contrario, il quale è anche il migliore, secondo quanto dice il proverbio. E così avviene, appunto, per restare agli esempi fatti, una volta che si sia imparato: di nulla un geometra si meraviglierebbe di più che se la diagonale fosse commensurabile al lato» (A 2, 983 a 12-21). Cfr. *Problemi* XXX 7, 956 a 15 ss.

[2] La diffusissima opposizione, qui e altrove nella letteratura greca, espressa dai nessi *kata physin* e *para physin* (l. 1 s.) non indica in assoluto ciò che è 'secondo natura' in contrasto con ciò che è 'contro' natura' (vd. introduzione); l'autore non descriverà fenomeni così classificabili. Piuttosto, a ciò che accade in accordo con la natura, naturalmente e in modo atteso, secondo quanto è nell'ordine delle cose che si osservano accadere, e sono prevedibili, si oppone ciò che si verifica per fattori o forze interagenti, caso per caso.

La *Meccanica* apre la possibilità di adattare le categorie del movimento 'naturale' e 'violento' a oggetti e schemi artificiali, rendendole così più flessibili. L'opposizione resta valida, ma il suo *status* si modifica. Vd. anche più avanti la nota 54.

[3] Si dà rilievo al concetto di 'causa', come negli altri trattati tecnici e scientifici del *C. A.*: la 'meraviglia' induce proprio a chiedersi 'perché' certi fenomeni accadano e 'come' possano accadere; solo l'individuazione delle cause trasforma la meraviglia in conoscenza, facendo rientrare i fenomeni in ciò che l'uomo può razionalmente dominare. Henri de Monantheuil (Monantholius 1599, p. 4 s.) osserva opportunamente: «notandum admirationem esse animi in rem propositam intuitionem cum cupiditate causam cognoscendi».

Non si insisterà mai abbastanza nel mettere in rilievo il fatto che se l'indagine sulle cause naturali è per noi profondamente e intimamente legata alla costruzione dell'immagine scientifica del mondo, questo modo di indagare la realtà delle cose e dei fenomeni non è e non è stato sempre di tutta l'umanità: sono stati i Greci a dare per primi un esempio di libera ricerca. Lo straordinario stimolo che da essi è venuto è l'eredità più vera della scienza antica, anche indipendentemente dalla correttezza dei risultati ragggiunti. Un passo dei *Problemi* compendia efficacemente la diffusa (e in altre opere più compiutamente espressa) consapevolezza che i Greci avevano del

proprio atteggiamento culturale e dell'essenza di una ricerca continuamente volta a interrogare di nuovo sé stessa: «tiene svegli l'attività di pensiero in cui l'anima è occupata a indagare e a porsi domande, non quella in cui l'anima si limita a contemplare: nel primo caso essa è lasciata nell'incertezza, nell'altro no» (XVIII 7, 917 a 39-b 3). Cfr. l'inizio del trattato ippocratico sulla *Malattia sacra*, e il verso delle *Georgiche* (II 490) di Virgilio, che anche Monantheuil ricorda a commento di questo passo (1599, p. 5): *felix qui potuit rerum cognoscere causas*.

Le edizioni e i commenti della *Meccanica* sono indicati in seguito con il solo nome dell'autore, tranne in alcuni casi. La grafia dei commenti in latino e della traduzione italiana della parafrasi di Piccolomini, da parte di Biringucci, è stata lievemente modificata, uniformandola in alcuni punti all'uso corrente.

[4] Come si è detto, in questo contesto la più consueta resa 'contro natura' rischia di far perdere la specificità del riferimento; da tenere in conto è anche l'altra opposizione, cioè quella tra 'natura' e 'arte', e tra movimento lineare e movimento circolare. Cfr. Pappo, *Collezione* VIII 1, p. 1022, 8-13 Hultsch.

Qualche esempio dalle traduzioni latine e moderne: «naturae opera/ praeter naturae legem» (Vittore Fausto); «natura/ praeter naturam» (Leonico Tomeo); «secundum naturam/ praeter naturam» (Monantheuil; Cappelle; Bussemaker); «in accordance with nature/ despite nature» (Forster); «in accordance with nature/ contrary to nature» (Hett); «natürliche Vorgänge/ und naturwidrige» (Krafft); «in armonia con la natura/ contro natura» (Bottecchia). Cappelle (p. 128 s.) nel suo commento richiama l'attenzione sulla frequenza di questa opposizione anche nella *Meccanica*; rinviando ad alcune definizioni tratte dall'inizio del secondo libro della *Fisica*, conclude: «Est igitur κατὰ φύσιν Aristoteli *omne id*, *quod sponte*, *sua natura*, *evenit*, *nulla vi extrinsecus agente*: unde sequitur παρὰ φύσιν esse, quod vi existat».

Per il collegamento tra παρὰ φύσιν e βίᾳ, vd. *Fisica* IV 8, 215 a 1 ss.; V 6, 230 a 29 ss.; VIII 4, 254 b 7 ss.; *Cielo* I 2, 269 a 7 s.; 8, 276 a 22 ss.; III 2, 300 a 23 ss.; *Generazione e corruzione* II 6, 333 b 26 ss.; *Meteorologia* I 4, 342 a 24 ss. (cfr. 3, 341 a 26; II 9, 369 a 28); *Anima* I 3, 406 a 22 ss.; *Respirazione* 4, 472 a 16 ss.; cfr. *Retorica* I 10, 1368 b 35 ss. Per il significato che nel contesto della *Meccanica* può avere questo collegamento, vd. Micheli 1995, p. 26 ss.

Nella lettera dedicatoria al Cardinale Francesco Barberini, Giovanni Di Guevara, che, come si è detto nell'introduzione, discusse dei problemi della *Meccanica* con Galileo, insiste sul concetto sia di emulazione sia di imitazione: l'uomo può escogitare congegni con i quali portare a compimento molte cose che sono *supra naturam*, ga-

reggiando con la natura e imitando l'invariabile movimento della 'macchina celeste'.

[5] L'evidenza data al beneficio, al vantaggio, appare in contrasto con quanto espresso nella *Metafisica*: «Se gli uomini hanno filosofato per liberarsi dall'ignoranza, è evidente che ricercano il conoscere solo al fine di sapere e non per conseguire qualche utilità pratica (οὐ χρήσεώς τινος ἕνεκεν). E il modo stesso in cui si sono svolti i fatti lo dimostra: quando già c'era pressoché tutto ciò che necessitava alla vita ed anche all'agiatezza ed al benessere, allora si incominciò a ricercare questa forma di conoscenza. È evidente, dunque, che noi non la ricerchiamo per nessun vantaggio che sia estraneo ad essa; e, anzi, è evidente che, come diciamo uomo libero colui che è fine a se stesso e non è asservito ad altri, così questa sola, tra tutte le altre scienze, la diciamo libera: essa sola, infatti, è fine a se stessa» (A 2, 982 b 19-28). In realtà, è diverso l'ambito argomentativo: nella *Metafisica* si esamina il concetto di *sophia*, e si stabiliscono differenze tra *empeiria*, *techne* e *episteme*; qui invece si considera brevemente il vantaggio che può derivare da una *techne*. Resta in ogni caso significativo l'accento posto sull'utilità, che non solo si spiega con il nuovo statuto delle *technai*, ma anticipa l'orientamento della scienza ellenistica verso una scienza applicata, in cui tuttavia sopravvive, in gradi diversi, anche quello spirito meramente speculativo che aveva caratterizzato la ricerca precedente.

[6] Il 'semplice e assoluto' corso della natura, considerato nella sua immutabile regolarità e necessità, senza deviazioni, viene opposto alla mutevolezza delle cose umane, secondo una concezione ricorrente anche nella produzione propriamente letteraria: su di essa si basano le immagini che sottolineano il contrasto tra la prevedibilità della natura e l'imprevedibilità dei casi umani. Se esistono, e sono descritte, analogie tra la natura e la vita umana relativamente al *nomos* che le regola, l'esistenza dell'uomo è tuttavia avvertita come particolarmente labile (vd. per es. Omero, *Iliade* 6, 146-149; *Odissea* 18, 130 ss.), e come un susseguirsi di *metabolai*, di rovesciamenti nell'estremo opposto. Anche al comportamento e all'indole delle specie animali si riconoscono una costanza e una prevedibilità (su cui si basano tra l'altro il paragone, nelle sue diverse forme, tra l'uomo e l'animale, e l'indagine fisiognomica, vd. la mia introduzione alla *Fisiognomica*, 2007 p. 59 ss.), che contrastano spesso con il carattere molteplice, complesso e mutevole dell'uomo. Qui la dimensione 'effimera' dell'uomo non emerge ovviamente, perché si resta nell'ambito delle necessità contingenti e dei bisogni pratici; essa è tuttavia sullo sfondo. Così anche il concetto di *physis*, che in Platone e in Aristotele muta considerevolmente rispetto all'indagine presocratica, conserva i precedenti significati e si arricchisce di altre connessioni: al senso di ordine e di

legge (il termine *tropos*, l. 15, pur non specifico, è pregnante, potendo indicare una direzione, una disposizione, un carattere, una maniera di essere e di operare; cfr. Platone, *Leggi* VII 804 b) si salda l'idea del 'semplice', cfr. Aristotele, *Metafisica* Δ 5, 1015 b 11-15: «il senso primario e fondamentale di necessario è il semplice: questo, infatti, non può essere in molteplici stati e, di conseguenza, non può neppure essere ora in uno stato ed ora in un altro, altrimenti sarebbe senz'altro in molteplici stati. Se, dunque, ci sono esseri eterni ed immobili, in essi non ci può essere nulla che sia forzato né contro la loro natura».

Significativi, per capire il più ampio contesto argomentativo cui questa opposizione rinvia, sono i confronti con la *Retorica* (I 11, 1370 a 7 s.: «la natura fa parte del "sempre", mentre l'abitudine dello "spesso"»; nel passo si fa riferimento a un'idea più volte espressa per cui l'abitudine tende a diventare una seconda natura – cfr. per es. *Memoria e Reminiscenza* 2, 452 a 26 ss.; *Etica Nicomachea* VII 6, 1148 b 27 ss.; 11, 1152 a 29 ss.; *Problemi* IV 26, 879 b 36); con l'*Etica Nicomachea* (V 10, 1134 b 25 s.: «ciò che è per natura è immutabile e ha dovunque la medesima potenza, come il fuoco, il quale brucia sia qui sia in Persia»; nel passo si distingue tra giustizia naturale e giustizia positiva, e si afferma che «naturale è il giusto che ha dovunque la stessa validità» – b 19, mentre «le norme di giustizia sono mutevoli» – b 27); con la *Fisica* (II 9, 200 a 15 s.: «la necessità è pressappoco nello stesso modo nelle cose matematiche e nelle cose che si generano secondo natura»); vd. anche *Riproduzione degli animali* (III 10, 760 a 31: ἀεὶ τὸ κατὰ φύσιν ἔχει τάξιν).

Alla dicotomia tra mondo della stabilità e dell'immobilità, e mondo della mutevolezza possono di volta in volta collegarsi soggetti diversi, in relazione a esigenze argomentative diverse. Qui, non si oppongono *tout-court* 'natura' e 'arte', come poco dopo nel detto di Antifonte, ma *physis* e *to chresimon*: la *techne*, che rappresenta la possibilità di attuarlo, fa da mediatore intervendo a cambiare un corso atteso, non a stravolgerlo.

[7] Il concetto di 'utile' (qui espresso dal participio sostantivato τὸ συμφέρον e dall'aggettivo sostantivato τὸ χρήσιμον, e altrove, nel *C. A.*, da τὸ ὠφέλιμον con accezione più specifica, vd. per es. *Etica Nicomachea* I 4, 1096 b 15; VIII 4, 1156 b 13 s.) ha diverse valenze nel pensiero filosofico antico e moderno. Genericamente, nella riflessione greca, 'ciò che giova all'uomo' è stato valutato in relazione sia al sensibile, e al bene del corpo, sia al bene dell'anima. Qui si fa riferimento all'immediato e pratico vantaggio che si può trarre da una *techne* che permette di cavarsela, quando non si sa che cosa fare in determinate circostanze, vd. l. 18 s.

[8] Anche in questo caso, un concetto antico viene rivisitato in un

contesto in cui si dà enfasi all'immediatezza e alla contingenza di un fare che si propone di superare difficoltà concrete, travalicando la natura, nel senso però di sfruttare le possibilità che l'esperienza stessa offre: tutto ciò che di sorprendente l'uomo riesce a fare ha sempre una sua 'causa naturale', una spiegazione razionale.

[9] Alcuni commentatori si sono chiesti a quale *techne* ci si riferisca qui. Monantheuil pensa che potrebbe trattarsi in generale dell'*Architectura*, sulla base di Vitruvio (I 3, 1: «L'architettura comprende tre sezioni: costruzione degli edifici, gnomonica, meccanica»), ma si domanda anche: «Et quid obest dicere hanc esse Philosophiam?» (p. 9). Cappelle osserva giustamente: «At vero nulla hic certa Ars significatur, sed loquitur Aristoteles de Arte universe, opposita φύσει, Naturae, deque operibus ejus, quatenus sunt Naturae operibus opposita» (p. 129). Con *techne* non si indica qui una specifica 'arte', ma una capacità dell'uomo.

[10] L'attenzione al linguaggio, ai termini utilizzati per definire cose, fenomeni e concetti, costituisce uno dei momenti storicamente più significativi e produttivi della speculazione aristotelica. È un presupposto comune della posizione aristotelica e dell'indagine moderna l'esigenza di chiarire significati e accezioni dei termini utilizzati nelle varie discipline, anche se ovviamente non si può parlare ancora, per l'antichità, nonostante lo straordinario impulso dato da Aristotele, di una diffusa consapevolezza in questo senso e di un coerente uso del linguaggio tecnico, condiviso dai cultori di una stessa disciplina.

Monantheuil (p. 8 s.) propone di emendare μηχανήν in μηχανικήν e traduce «Mechanicem»; Cappelle (p. 129; cfr. la traduzione, p. 2: viene lasciato il termine greco seguito da *Mechanicen*, tra parentesi) giudica inopportuno e inutile questo emendamento, tenendo conto sia della tradizione manoscritta e delle edizioni, sia del valore del termine: «Vox autem μηχανή proprio et primario sensu non illud, quod Latini vocant *machinam*, sed *consilium*, *artem*, *artificium* significat». La *mechane* fa specificamente parte (*tes technes … meros*, l. 18 s.) di quelle risorse che permettono all'uomo di affrontare e risolvere situazioni di difficoltà e di bisogno, di cavarsela in determinate circostanze; il termine greco ha pertanto un valore più ampio rispetto a quello che potrebbero comunicare i termini italiani 'meccanica' o 'macchina'. Le traduzioni latine oscillano tra *machinam* (Vittore Fausto), *mechanicam* (Leonico Tomeo), *mechanicem*, *artificium* (Bussemaker); Forster rende: «Mechanical Skill»; Hett: «a device»; Gohlke: «Erfindung»; Krafft: «ein mechanisches Hilfsmittel».

[11] Vd. TrGF 55 F 4 Snell (*incerta fabula*); cfr. per es. Omero, *Odissea* 8, 326-333. Antifonte è ricordato da Aristotele come autore di tragedie nella *Retorica* II 2, 1379 b 15 (vd. fr. 55 F 1 b Snell); 23, 1399 b 25 (vd. fr. 55 F 2 Snell); 6, 1385 a 9 (viene riferito un'aneddo-

to di Antifonte); *Etica Eudemia* VII 4, 1239 a 37 s. Sulla dibattuta questione riguardante l'identità di Antifonte, prende posizione Canfora: «si tratta del tragediografo, cioè dell'unico Antifonte ateniese di cui la tradizione di quinto e quarto secolo abbia serbato un ben nitido ricordo: oratore, tragediografo e, nel fosco 411 a.C., *ideatore* del colpo di Stato oligarchico che tolse inopinatamente agli Ateniesi la democrazia nel pieno della crisi a ridosso della catastrofe siciliana» (2005, p. 62). Vd. anche qui la nota 130 dell'introduzione.

[12] Il termine e il concetto di ῥοπή sono fondamentali in questo trattato. Il verbo ῥέπειν indica propriamente l'*inclinarsi* del piatto della bilancia, significato a cui sono connessi i suoi altri impieghi in senso figurato. Anche il sostantivo derivato ῥοπή propriamente indica l'*inclinazione* della bilancia e genericamente il *peso*, e, in senso figurato, la causa che si aggiunge a determinare un cambiamento, una svolta in vari ambiti, un'occasione o una circostanza decisive, cfr. per es. Sofocle, *Edipo re* 961; Platone, *Repubblica* VIII 556 e; Aristotele, *Riproduzione degli animali* IV 2, 767 a 11 s.; *Problemi* I 17, 861 a 31 s. Per gli usi nel linguaggio della geometria, vd. Mugler 1958, p. 372, s. v. ῥέπειν («Expression verbale intéressant les mathématiques par l'usage qu'en a fait Archimède dans ses théories de l'équilibre. ῥέπειν y désigne le comportement du levier d'une balance en déséquilibre»); p. 374, s. v. ῥοπή («nom [...] désignant la tendance d'une balance à pencher d'un côté et, d'une façon générale, toute impulsion au mouvement reçue par un corps de la part de son poids ou d'une autre force»).

Aristotele usa il termine sia in senso proprio sia in senso figurato. Vd. per es. *Metafisica* I 1, 1052 b 28 s.; *Cielo* II 1, 284 a 25; 14, 297 a 28; b 7; *Politica* IV 11, 1295 b 38 s.; *Problemi* XXVI 26, 942 b 36-943 a 1 («poiché l'equinozio rappresenta l'equilibrio tra inverno ed estate, se qualcosa si aggiunge a uno qualsiasi dei due, determina un chiaro sbilanciamento in quella direzione, come accade con i piatti equilibrati della bilancia»); *Respirazione* 9, 474 b 31; 15, 478 a 16; *Etica Nicomachea* I 11, 1100 b 25; *Etica Eudemia* VII 12, 1246 a 19. Per il suo valore di *vis movendi* insita in qualcosa, vd. in particolare *Cielo* IV 1, 307 b 28-33: «Si deve esaminare che cosa siano il pesante e il leggero, quale sia la loro natura, e anche per quale ragione essi abbiano queste potenze. L'indagine su ciò rientra nella trattazione relativa al movimento, poiché diciamo che qualcosa è pesante e leggero in relazione alla sua attitudine a muoversi naturalmente. Per il loro essere in atto invece non si hanno dei nomi, a meno che non si ritenga appropriato il termine inclinazione – ταῖς δὲ ἐνεργείαις ὀνοματ' αὐτῶν οὐ κεῖται, πλὴν εἴ τις οἴοιτο τὴν ῥοπὴν εἶναι τοιοῦτον»; cfr. III 2, 301 a 22 s. e 24; III 6, 305 a 24-26 (il corpo senza *rhope*, sarà privo di movimento e sarà un ente matematico); *Fisica* IV 8, 216 a

13; *Parti degli animali* II 7, 652 b 16 s. (sempre si richiede una forza contraria, per stabilire l'equilibrio e la medietà); *Cosmo* 6, 399 b 11 s. («sollecitate da un'unica causa determinante, tutte le cose compiono la funzione che è loro propria, pur rimanendo, quella, invisibile e nascosta»).

L'impiego metaforico accosta il valore del termine al concetto di *dynamis*, vd. *Etica Nicomachea* I 1, 1094 a 23; 7, 1098 b 6; X 1, 1172 a 23 s.

Nella *Meccanica*, il termine indica essenzialmente l'inclinazione naturale al moto, e ciò che la determina, la propensione a muoversi, il peso che è causa di moto, la forza motrice. L'uso di *rhope*, *ischys* e *dynamis*, in questo trattato, è stato oggetto di valutazione, in quanto genericamente afferenti allo stesso concetto di forza: *ischys* e *dynamis* indicherebbero la forza esterna, che muove; *rhope* invece, la forza che un corpo ha in sé e che lo fa inclinare in una certa direzione. Clagett si sofferma sull'uso di questi termini nel *C. A.*, e nelle traduzioni latine: *dynamis* «è generalmente resa con *potentia* nella traduzione medievale dal greco attribuita a Guglielmo di Moerbeke»; *ischys* «resa generalmente con *virtus* nella traduzione di Moerbeke, ma talvolta anche con *potentia*; in altre traduzioni medievali troviamo anche *vis* e *fortitudo* [...] Nei passi in cui Aristotele si occupa delle regole dinamiche non c'è una chiara distinzione tra i due termini; in altri luoghi invece δύναμις implica l'idea di "capacità" o "potenzialità", mentre ἰσχύς tende a indicare la forza attualmente applicata in qualche sforzo fisico [...] Altri vocaboli greci usati in dinamica da Aristotele e dai suoi commentatori sono: ῥοπή, *inclinatio*, *impulsus*, "inclinazione", "impulso"; βία, *virtus violenta*, *violentia*, "forza muscolare" o "violenza"; ὁρμή, *impetus*, "urto" o "percussione"» (1981, p. 449, n. 4; cfr. p. 454). Vd. anche Drabkin 1938, p. 75; Krafft 1970, pp. 35 ss.; 41; 48 ss.; 74 ss.; 165; De Gandt 1982, p. 100 ss.; Micheli 1995, pp. 26 s.; 64 ss.; 139; Bottecchia 2000, pp. 37 s.; 137; 203.

Ancora fondamentale è lo studio di Paolo Galluzzi (1979) che nella prima parte si sofferma sui valori e sulla complessità di *rhope* e del latino *momentum* (termine che ha anch'esso una lunga e articolata storia), sui rispettivi sviluppi semantici e sui rapporti tra i due termini, quali emergono dai testi greci e latini, classici e cristiani, dalle traduzioni e dai commenti di opere greche che sono state fondamentali per la formazione del pensiero scientifico e filosofico moderno. L'autore dedica particolare attenzione all'uso di *rhope* nella *Meccanica* (p. 74 ss.) e nella *Fisica* (p. 89 ss.), e alla sua resa nelle traduzioni latine: «L'esame delle versioni e delle compilazioni delle *Questioni Meccaniche* induce, dunque, a concludere [...] che l'impiego di *momentum*, sia nel significato di "inclinazione" prodotta dal peso, sia come termine "tecnico" di meccanica [...] era tutt'altro che abituale

nei secoli XV e XVI. Se il valore di *momentum* come variabile della efficacia del peso appare ormai fissato, tuttavia l'impiego del termine con questa specifica connotazione rimane eccezionale. Per esprimere tale fondamentale concetto si preferiscono, infatti, a *momentum* altri termini più generici, non "tecnici", come *nutus*, *inclinatio*, *vis*, *potentia*, *virtus* ecc., oppure si fa ricorso a giri di frase non sempre perspicui e cristallini. D'altra parte, questa diffusa esitazione a servirsi di *momentum* nelle trattazioni di statica per indicare il variare della forza motrice generata dallo stesso peso, appare un fenomeno generale caratteristico di tutti gli autori, i quali, sotto l'influenza della tradizione archimedea, dei testi *de ponderibus*, del *De architectura* di Vitruvio o delle *Questioni meccaniche*, si occuparono, nei secoli XV e XVI, dei problemi di statica, fermando la propria attenzione in particolare sulle leggi della bilancia. Se non andiamo errati, soltanto in due passi vergati sul *recto* del folio 1 del *Codice sul volo degli uccelli*, in una pagina cioè assegnabile al 1505, Leonardo impiegò il nostro termine. In entrambi i contesti *momento* era esplicitamente riferito alla bilancia» (p. 84 s.). Il latino *momentum* è talora impiegato dai traduttori per rendere il greco *kinema* (p. 119 ss.).

Preliminarmente, si può osservare che il concetto di *rhope* è in relazione con quello di *energeia* (e di *baros*), nel senso di una dinamicità intrinseca, in quanto tendenza a perdere la staticità, l'equilibrio, di un'efficacia che si traduce in un effetto concreto, in un 'atto'; cfr. Aristotele, *Cielo* IV 1, 307 b 28-33. Talora, sembra esserci una corrispondenza con il concetto di 'momento', pur se bisogna tener conto delle differenze legate ai contesti diversi (vd. Krafft 1990, p. 55 ss.). Sull'uso dei termini 'propensione', 'gravità' e 'momento' e sullo sviluppo dei concetti relativi in Galileo, vd. Galluzzi 1979, p. 151 ss.; Heath 1998, p. 229; Gatto 2002, pp. XCI, XCVII s., CVIII ss.

In questo passo, si può intendere *rhope* come 'forza motrice'; la forza, pur piccola, esercitata dal peso, il peso stesso, 'il poco peso' (cfr. 847 b 14 s.; 850 a 13, 15 e 18). Leonico Tomeo traduce «momentum parvum»; così anche Monantheuil («parvum momentum»); Cappelle traduce: «magna pondera moventur ab exigui momenti rebus» e spiega che in questo passo il termine ῥοπή «sumitur pro *eo, quod inclinare facit*, seu *momento*» (p. 132). Le traduzioni moderne oscillano maggiormente; Forster interpreta: «forces of small motive power»; Hett: «things possessing little weight»; Gohlke: «ein kleines Gewicht». Krafft: «etwas, das nur eine kleine 'Bewegungskraft' hat, grosse Gewichte bewegt». Micheli: «quelle che avendo poca forza di inclinazione muovono grandi pesi» (1995, p. 139); Bottecchia: «ciò che, pur avendo piccolo momento, muove grandi pesi» (2000, p. 55).

Vailati osserva che in Aristotele «le forze non sono ancora distintamente concepite come grandezze v e t t o r i a l i, e sono invece consi-

derate puramente sotto l'aspetto di grandezze scalari. In altre parole egli le paragona tra loro soprattutto in riguardo alla loro intensità [...] Il suo concetto di forza è informato, coscientemente o no, a quello dello sforzo muscolare umano, ed egli non riesce a far completamente astrazione dalle proprietà che si riferiscono a questo caso speciale» (1897, p. 944 s.).

[13] Tenendo conto della prima coppia di contrari (piccolo/ grande), questa seconda può configurarsi come opposizione tra il leggero e il pesante, ma anche tra il poco (impulso) e il molto (un corpo massiccio che oppone resistenza), oppure come semplice estensione dell'opposizione precedente. Il contesto è ancora generico: l'autore insiste sul paradosso, sull'inaspettato, senza riferirsi a casi o fenomeni specifici, che saranno invece analizzati successivamente.

[14] Definire e indicare l'oggetto e l'ambito di studio sono premesse indispensabili per un corretto procedimento di indagine, per passare dall'*empeiria* alla *techne*.

Sul termine *problema*, e sulle raccolte antiche di *problemata*, vd. l'introduzione.

Il suffisso -ικός è come noto molto produttivo proprio nel periodo di maggiore dibattito sulle *technai*; esso è particolarmente ricorrente nella prosa scientifica e filosofica aristotelica e nella *koine*, ed esprime il rapporto, la relazione, l'appartenenza, la pertinenza.

[15] La ripartizione proposta (*ta physika problemata* e *ta mechanika problemata*) per noi prende corpo nelle due raccolte del *C. A.* conservate: questa (indicata nelle diverse traduzioni col titolo di *Mechanica*, *Problemata mechanica*, *Quaestiones mechanicae*; vd. Cappelle, p. 1, per la tradizione manoscritta e le scelte degli editori) e quella dei *Problemi*, il cui titolo oscilla anche nella tradizione manoscritta (per le varie denominazioni nella tradizione manoscritta e nelle liste antiche delle opere aristoteliche, e per la fortuna di questo tipo di raccolte, non solo nel mondo antico, vd. Louis 1991, nell'introduzione alla sua edizione; Ferrini 2002, pp. V ss., XIII ss.).

Con il termine *physike* (ἡ φυσική – ἐπιστήμη/τὰ φυσικά; la scienza che studia la *physis*, la natura) ci si riferisce a un campo di indagine più vasto rispetto a quello che per noi è di pertinenza della fisica. Di scorcio, si può osservare in ogni caso che oggi la fisica tende a essere considerata la regina delle scienze.

Aristotele, nella *Metafisica* (E 1, 1025 b 18-28), la definisce così: «Anche la scienza fisica tratta di un genere particolare dell'essere: tratta, precisamente, di quel genere di sostanza che contiene in sé medesima il principio del movimento e della quiete. Ebbene, è evidente che la fisica non è scienza pratica né scienza poietica: infatti il principio delle produzioni è in colui che produce, ed è o l'intelletto o l'arte o altra facoltà; e il principio delle azioni pratiche è nell'agente

ed è la volizione, in quanto l'oggetto dell'azione pratica e della volizione coincidono. Pertanto, se ogni conoscenza razionale è o pratica o poietica o teoretica, la fisica dovrà essere conoscenza teoretica, ma conoscenza teoretica di quel genere di essere che ha potenza di muoversi e della sostanza intesa secondo la forma, ma prevalentemente considerata come non separabile dalla materia». Nella fisica rientra anche la psicologia: «è compito del fisico speculare anche su una parte dell'anima, e precisamente su quella parte dell'anima che non esiste senza la materia» (*ibid.* 1026 a 4-6; si tratta dell'anima vegetativa e di quella sensitiva; senza materia è l'anima intellettiva, il *nous* – vd. Reale 1993, p. 699 n. 78).

«Nella *Fisica* di Aristotele – scrive Wieland – difficilmente il moderno scienziato della natura troverà a prima vista qualcosa che quest'opera possa avere in comune con le cose trattate dalla fisica moderna. Questo non deve tuttavia ingannare sull'efficacia storica dei temi trattati. Chi ha infatti molta familiarità con un argomento, dà facilmente un peso eccessivo alle differenze d'opinione, mentre accetta gli elementi comuni come ovvietà di cui generalmente non val la pena parlare. Tuttavia, nello sviluppo di qualunque scienza, si presentano sempre situazioni nelle quali è necessario interrogarsi anche su ciò che si era fino a quel momento tenuto per ovvio. Proprio in questo senso, occuparsi della fisica aristotelica torna ora utile alle domande fondamentali che si pone la moderna scienza della natura: le domande alla cui discussione è costretta la fisica moderna, nel tentativo di conquistare i proprii fondamenti, vanno nella stessa direzione – quantunque da una situazione storica completamente diversa – delle domande nelle cui risposte Aristotele trovava i fondamenti di una fisica come scienza. Non costituirebbe obiezione alcuna alla rilevanza sistematica che la fisica aristotelica riveste per la fisica moderna, qualora risultasse – sul che però qui ancora non ci si interroga – che la posizione di fondo di Aristotele non è più sostenibile alla luce della moderna scienza della natura [...] Nella storia del pensiero e della scienza il superamento di una posizione avversa rientra in ogni caso tra le premesse della nuova posizione raggiunta per lo meno quanto la ripresa e l'ulteriore sviluppo di una posizione esistente» (1993, p. 13 s.).

[16] Gli aspetti specifici e quelli comuni, riguardanti sia i rapporti tra le diverse discipline, e i loro metodi di indagine, sia i procedimenti diairetici all'interno di una stessa disciplina, intesi a distinguere e a ripartire il materiale oggetto di studio, e a valutarne la diversa rilevanza ai fini di una corretta indagine, sono oggetto di attenzione anche nei trattati minori del *C. A.* Nella *Fisiognomica* ci si avvale largamente della coppia di opposti *idion/koinon* (vd. per es. 805 b 15 ss.; 808 b 30 ss.; e il commento in Ferrini 2007, pp. 33 s.; 56 ss.; 126

nn. 47-48; 216 n. 27; 245 n. 167). L'opposizione tra 'segno comune' e 'segno proprio' è tipica delle filosofie ellenistiche: una loro definizione viene data da Filodemo. Cfr. *Analitici primi* II 27, 70 b 7 ss.; *Metafisica* E 1, 1026 a 25-27: «nello stesso ambito delle matematiche c'è diversità: la geometria e l'astronomia riguardano una determinata realtà, mentre la matematica generale è comune a tutte».

L'uso del termine *theorema* (vd. introduzione) può essere connesso anche con la collocazione che fisica e matematica hanno nella suddivisione aristotelica delle scienze; si passa in ogni caso dalla considerazione riguardante le singole questioni e gli oggetti di indagine alla più generale attività esplorativa e teoretica che li comprende, pur se con impostazione diversa, come si spiega subito dopo.

[17] Aristotele ha fondato la fisica come scienza autonoma, distinguendola dalla metafisica, distinzione che comporta un cambiamento dell'antico senso di *physis*. Questa distinzione riguarda le due diverse realtà oggetto di indagine (il sensibile e il soprasensibile) delle due scienze, ma la fisica resta una scienza prevalentemente 'qualitativa' e la natura è studiata dal punto di vista filosofico. Si è ancora lontani dalla fisica moderna, galileiana, da una scienza 'quantitativamente' intesa; i trattati minori del *C. A.*, concentrandosi sulle cause immediate dei fenomeni, costituiscono tuttavia un momento importante nella storia della scienza, per il loro approccio essenzialmente fenomenologico, e per il maggiore rilievo che assume la 'quantità' in alcuni di essi, nel nostro trattato in particolare.

La matematica (ἡ μαθηματικὴ ἐπιστήμη) è nell'antichità la scienza del numero e della quantità; «i Pitagorici per primi – testimonia Aristotele – si applicarono alle matematiche e le fecero progredire e, nutriti delle medesime, credettero che i princìpi di queste fossero princìpi di tutti gli esseri. E, poiché nelle matematiche i numeri sono per loro natura i princìpi primi, e appunto nei numeri essi ritenevano di vedere, più che nel fuoco e nella terra e nell'acqua, molte somiglianze con le cose che sono e che si generano [...] e inoltre poiché vedevano che le note e gli accordi musicali consistevano nei numeri; e infine, poiché tutte le altre cose, in tutta la realtà, pareva a loro che fossero fatte a immagine dei numeri e che i numeri fossero ciò che è primo in tutta quanta la realtà, pensarono che gli elementi dei numeri fossero elementi di tutte le cose, e che tutto quanto il cielo fosse armonia e numero» (*Metafisica* A 5, 985 b 23-986 a 3 = 58 B 4, I p. 451 s. D.-K.). In Platone, agli oggetti matematici (gli enti 'intermedi' delle 'dottrine non scritte', posti nella gerarchia dei piani dell'essere dopo le immagini sensibili e gli oggetti sensibili, e prima delle Idee) corrisponde sul piano del conoscere la *dianoia* (la conoscenza mediana, collocata dopo l'*eikasia* o immaginazione, dopo la *pistis* o credenza, e prima della *noesis* o intellezione; vd. *Repubblica* VI 509 d ss.).

Aristotele divide le scienze in teoretiche, pratiche, e poietiche o produttive: metafisica, fisica (e psicologia) e matematica appartengono alle prime (vd. *Metafisica* E 1, 1025 b 3 ss.; in particolare 1026 a 10-16: «se esiste qualcosa di eterno, immobile e separato, è evidente che la conoscenza di esso spetterà certamente a una scienza teoretica, ma non alla fisica, perché la fisica si occupa di esseri in movimento, e neppure alla matematica, bensì a una scienza anteriore all'una e all'altra. Infatti, la fisica riguarda realtà separate ma non immobili; alcune delle scienze matematiche riguardano realtà che sono immobili ma non separate, bensì immanenti alla materia; invece la filofia prima riguarda realtà che sono separate e immobili»).

Il passo della *Meccanica* può essere letto alla luce della *Metafisica* (E 1, 1026 a 25-27), tenendo conto della funzione più generale che la matematica, come scienza dimostrativa e teoretica, ha anche in Aristotele. Nell'immediato contesto non si propone d'altra parte un'opposizione tra un procedimento argomentativo astratto e un'indagine concreta, ma si prospettano un confronto e un'integrazione tra due discipline; la scienza naturale ha il proprio specifico campo di 'osservazione' oggettiva in cui può trovare applicazione la dimostrazione matematica: il 'come' corrisponde qui all'indagine sulle cause.

L'uso sostantivato di ὥς e del nesso περὶ ὅ è raro in Aristotele (cfr. *Etica Nicomachea* VII 4, 1146 b 15-17; *Generazione e corruzione* I 5, 320 a 26).

Qualche esempio di traduzione. In Leonico Tomeo manca l'ultima frase: «sunt autem haec neque naturalibus omnino quaestionibus eadem, neque seiugata valde, verum mathematicarum contemplationum naturaliumque communia». Monantheuil: «etenim quod ipsum quomodo ad mathematica pertineat: ipsum vero circa quod, ad Physica, manifestum est»; Cappelle: «Illud scilicet, *quomodo* quid efficiatur, ope Mathematicarum, *circa quid* vero efficiatur, ope Naturalium Quaestionum innotescit». Forster: «for while Mathematics demonstrates *how* phenomena come to pass, Natural Science demonstrates *in what medium* they occur». Hett: «for the method is demonstrated by mathematics, but the practical application belongs to physics». Krafft: «denn wie etwas hier geschieht, wird aufgrund mathematischer Anschauungen klar, und jenes, an dem es geschieht, aufgrund physikalischer». Bottecchia: «poiché *il come* è dimostrato dalle speculazioni matematiche, *l'oggetto* dalle fisiche». Micheli commenta in nota: «Il τὸ περὶ ὅ, ciò su cui verte il discorso indica il *subiectum*, il τὸ ὑποκείμενον dei testi aristotelici, che è appunto un oggetto fisico» (1995, p. 24 n. 13).

[18] Dopo l'esordio si profila la stesura sotto forma di *aporiai*, di questioni, di problemi, che diventa ancora più evidente a partire da

850 a 3, con l'uso della formula introduttiva, tipica dell'altra raccolta (*Problemi*): διὰ τί (ἀπορεῖται διὰ τί in 855 a 28).

[19] La prima 'macchina semplice' ricordata è la leva, di larga applicazione anche nella medicina antica; un trattato del *Corpus Hippocraticum* sugli strumenti di riduzione ha proprio per titolo Μοχλικόν. Il termine μοχλός ('leva', 'sbarra', 'stanga') ricorre già nell'*Odissea* in un contesto molto tecnico (5, 261: si descrive accuratamente come Odisseo costruisce la propria imbarcazione, prima di lasciare Calipso). Nella *Pace* di Aristofane i coreuti, vestiti da contadini e armati di attrezzi, si dichiarano pronti a qualsiasi lavoro, sotto la direzione di Trigeo, pur di riportare alla luce la dea più grande, la Pace (307: μοχλοῖς καὶ μηχαναῖσιν). In Aristotele, il termine ricorre, oltre che in questo trattato, nella *Fisica*, in un passo molto significativo per un confronto tra le due opere (VIII 4, 255 a 22; cfr. 6, 259 b 20, dove si usa il vocabolo μοχλεία).

Nella *Meccanica* è utilizzato anche il verbo μοχλεύειν (18, 853 a 38). Il termine ὑπομόχλιον, fulcro della leva, ricorre qui (3, 850 a 35; 20, 854 a 10; 21, 854 a 28) e nei *Problemi* (IV 23, 879 a 17: vi si dà la spiegazione meccanica di un fenomeno fisiologico). Monantheuil nel descrivere la leva (in latino, *vectis*) aggiunge: «vecti in usu aliquando supponitur fulcimentum, quod Graeci ὑπομόχλιον, Vitruvius porrectam pressionem appellat» (p. 14); vd. Vitruvio, *Architettura* X 3, 2: «quando una leva di ferro è applicata a un peso che un gran numero di mani non riesce a smuovere, se si pone sotto la leva un sostegno rettilineo in funzione di fulcro – quello che i Greci chiamano *hypomóchlion* – e sotto il carico si fa scivolare il braccio corto della leva, sarà sufficiente che la forza di un solo uomo prema sul braccio lungo della leva perché questa sollevi il carico».

Sulla leva e il suo uso nell'antichità, vd. Navarre 1919; Landels 1980, pp. 235 ss.; 249 s. Elisa Romano schematizza l'importanza che essa ha avuto nella storia della civiltà umana, nella nota di commento al passo di Vitruvio appena citato: «Il problema della leva, centrale nella meccanica antica, di cui segna l'inizio, costituì una base per le ricerche della statica moderna. Assieme al piano inclinato, la leva fu uno dei più antichi strumenti per lo spostamento dei pesi, nato da una delle prime esigenze manifestatesi nella storia della civiltà, un'esigenza che coincide con l'oggetto stesso della meccanica, la moltiplicazione cioè della forza umana. L'autore del principio della leva è comunemente considerato Archimede, che lo espone nel trattato *Sull'equilibrio delle figure piane*. Anche se la meccanica peripatetica conosceva già la legge dell'equilibrio della leva e Aristotele nei *Problemi meccanici* aveva almeno intravisto la generalità di questo principio, a cui si potevano riportare molti movimenti meccanici, Archimede fu il primo a fare della statica una scienza autonoma fon-

data su postulati sperimentali e sostenuta da postulati matematici» (1997, p. 1376, n. 81).

Il secondo libro del trattato di meccanica di Filone di Bisanzio aveva per titolo Μοχλικά «che significa teoria e applicazioni della leva [...] il comportamento teorico e pratico della leva costituisce il tema specifico della *Meccanica* pseudo-aristotelica. Da questa opera in poi il termine "meccanica" acquista nella tradizione greca un senso proprio e ristretto, quello di teoria della leva» (Ferrari 1984, p. 249; cfr. p. 243). Vd. anche Erone, *Meccanica* II 1, p. 94, 11; 2, p. 98, 7 ss.; 8, p. 114, 22 ss. Nix.

[20] È evidente da questo passo e dal successivo come la meraviglia, di fronte a ciò che sembra essere strano e in contrasto con il senso comune (le diverse potenzialità che si riconoscono istintivamente al 'piccolo' e al 'grande', al 'meno' e al 'più') o con alcuni principi fondamentali (i contrari non possono coesistere), sia di stimolo all'indagine. Si tratta tuttavia di una meraviglia che non è passivo stupore, ma già attiva disposizione di un osservatore 'curioso', che interroga nello stesso tempo la natura e sé stesso.

Monantheuil, che sottolinea sempre la funzione della filosofia in questo genere di indagini, in accordo con un'impostazione ancora prevalente al suo tempo, definisce il problema posto dall'autore, come «dignum quaesitu»: è così per tutte le cose «quae revera fiunt [...] fieri tamen ratio repugnat»; parafrasando ampiamente le opposizioni del testo, conclude: «Si non praevalet, non movet: movet tamen: Relinquitur ergo ut existimemus aliquam causam in hoc problemate motus eius apparentis latentem subesse, dignam Philosophi indagatione» (p. 14).

La 'meraviglia' è tuttavia una reazione anche dello spettatore che guarda stupito ciò che lo sorprende, con un misto di paura e di reverente ammirazione, come non si manca mai di sottolineare nelle fonti antiche. Ierone, scrive Plutarco, trasecolò (θαυμάσαντος δὲ τοῦ Ἱέρωνος [...] ἐκπλαγεὶς οὖν ὁ βασιλεύς) per la scoperta dell'amico Archimede, che si potesse con una determinata forza sollevare un determinato peso, e lo pregò di mostrargli come una piccola forza riuscisse a smuovere un oggetto grande. È interessante notare che Plutarco si sofferma sia sullo stupore di Ierone sia sull'entusiasmo di Archimede (*Vita di Marcello* 14, 14, 306 a-b; vd. anche l'introduzione): in questo passo si trovano felicemente accostati la 'meraviglia' che nasce dall'incredulità e dall'ignoranza, e la 'meraviglia' che nasce dal compiacimento del sapiente.

Nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Mecanica & e i Movimenti locali*, Galileo fa un significativo accenno ad Aristotele: «– Sagr. [...] in tutti gli strumenti mecanici, non solo con l'esperienza, ma con la dimostrazione ancora,

si verifica [...] che la velocità del movente, ben che di forza debole, può superare la resistenza, ben che grandissima, di un resistente che lentamente debba esser mosso, tutta volta che maggior proporzione abbia la velocità del movente alla tardità del resistente, che non ha la resistenza di quel che deve esser mosso alla forza del movente. – Simp. Questo mi è notissimo, e dimostrato da Aristotele nelle sue Quistioni Mecanice; e manifestamente si vede nella leva e nella stadera» (Giornata quarta, ed. Favaro, vol. VIII, p. 310).

[21] Come si è detto nell'introduzione, al cerchio e alle sue proprietà viene ricondotta gran parte dei fenomeni meccanici, in questa opera. De Gandt giudica questa tirata retorica, sulle meraviglie del cerchio e sui contrari, fuori posto e inopportuna, e poco degna della «sobriété» di Aristotele, che sulle proprietà del movimento circolare si esprime in modo più breve e asciutto (1982, p. 119); rinvia quindi alla *Fisica* VIII 9, 265 b 7 s.; VI 9, 240 a 29 ss.; 10, 240 b 15 ss. Di particolare interesse per un confronto è questo passo: «la velocità delle parti che sono vicine al centro non sarà identica a quella delle parti esterne o a quella della sfera nella sua totalità, in quanto non sussiste unicità di movimento» (VI 9, 250 a 15-17).

[22] Il modo di esprimersi sembra approssimativo e tautologico; in realtà, l'analogia tra causa ed effetto è tra i concetti basilari della scienza antica, e un principio argomentativo cui si ricorre in molti ambiti.

[23] «Praeter contrariorum legem», sottolinea Monantheuil nell'articolato commento al passo (p. 15 ss.), si trovano contemporaneamente nel cerchio delle contrarietà, di per sé incompatibili tra di loro. Molto ricca è la riflessione di Aristotele sul concetto di 'contrario' (*to enantion* – in questo passo, il termine ha un valore specifico) e di 'opposto' (*to antikeimenon*), vd. in particolare *Categorie* (10, 11 b 16-11, 14 a 25) e *Metafisica* (Δ 10, 1018 a 20-b 8; I 4, 1055 a 3-b 29); riassuntivo può essere considerato questo passo: «Opposti si dicono (1) i contraddittori, (2) i contrari, (3) i relativi, (4) privazione e possesso, (5) gli estremi da cui si generano e in cui si dissolvono le cose. (6) Opposti si dicono anche quegli attributi che non possono trovarsi insieme nello stesso soggetto, che pure li può accogliere separatamente: e sono opposti o essi stessi o ciò da cui essi derivano. Il grigio e il bianco, infatti, non si trovano insieme nello stesso oggetto, perciò gli elementi da cui derivano sono opposti. Contrari si dicono (1) quegli attributi differenti per genere che non possono essere presenti insieme nel medesimo oggetto, (2) quelle cose che maggiormente differiscono nell'ambito del medesimo genere, (3) quegli attributi che maggiormente differiscono nell'ambito dello stesso soggetto che li accoglie, (4) quelle cose che maggiormente differiscono nell'ambito di una stessa facoltà conoscitiva, (5) e quelle la cui differenza è massima (a) o assolutamente, (b) o secondo il genere, (c) o secondo la

specie. Le altre cose che si dicono contrarie sono tali nei seguenti sensi: alcune perché posseggono queste specie di contrarietà, altre perché sono capaci di ricevere queste specie di contrarietà, altre perché hanno possibilità di produrre o di subire queste specie di contrarietà, oppure perché attualmente le producono o le subiscono o perché sono perdite o acquisizioni, possessi o privazioni di queste specie di contrarietà. E poiché l'uno e l'essere hanno molteplici significati, necessariamente in altrettanti significati si diranno anche le nozioni che da essi derivano, cosicché l'identico e il diverso e il contrario avranno significati diversi in ognuna delle diverse categorie» (*Metafisica* Δ 10, 1018 a 20-38).

«Niente sembra accogliere nello stesso tempo i contrari», si afferma nelle *Categorie* (6, 5 b 39-6 a 1), ma la contrarietà si definisce e si realizza in molti modi, e in relazione al genere e alla specie, alla privazione e al possesso, e soprattutto non ha la radicalità della contraddizione (vd. *Metafisica* I 4, 1055 a 3-b 29: «Poiché le cose che differiscono fra loro possono differire in grado maggiore o minore, ci deve essere anche una differenza massima e questa io chiamo contrarietà [...] La contrarietà prima è data dal possesso e dalla privazione, non, però da ogni privazione, in quanto la privazione si intende in diversi sensi, ma solamente dalla privazione perfetta. Tutti gli altri contrari si diranno in funzione di questi: alcuni perché li posseggono, altri perché li producono o possono produrli, altri, infine, perché sono acquisizione o perdite di questi o di altri contrari. Orbene, se la contraddizione – ἀντίφασις, la privazione – στέρησις, la contrarietà – ἐναντιότης – e la relazione –τὰ πρός τι – sono parimenti degli opposti, e se la prima fra queste è la contraddizione, e se non esistono termini intermedi della contraddizione, mentre possono esistere termini intermedi fra i contrari: ebbene, se è così, è evidente che contraddizione e contrarietà non sono la stessa cosa [...] non ci possono essere termini intermedi della contraddizione, mentre ci possono essere di un certo tipo di privazione: infatti ogni cosa è o uguale o non-uguale, ma non ogni cosa è o uguale o disuguale, o, almeno, lo è solo nel soggetto che riceve l'uguaglianza»; cfr. 7, 1057 a 33 ss.).

Nel caso del cerchio, la coesistenza dei contrari è connessa con la sua origine, e rientra pertanto in una forma di 'correlatività'. L'osservazione serve qui a confermare l'eccezionalità del cerchio, e quindi a giustificare la sua valenza di 'principio', di 'causa' di tutto ciò che sembra altrettanto eccezionale e sorprendente.

[24] I contrari (movimento e quiete) si trovano già nella genesi della figura. Nella *Fisica* si analizzano i diversi movimenti attraverso il rapporto di contrarietà che intercorre; questo stesso rapporto di contrarietà viene esaminato nella relazione tra il movimento e la quiete che è privazione di movimento (V 5-6, vd. in particolare 6, 229 b 23 ss.).

L'uso dei verbi *synistanai* e *gignesthai*, e dell'avverbio *euthys*, sembra sottolineare proprio il processo di costruzione e di realizzazione, il prendere forma della figura. Monantheuil (p. 17) richiama il terzo postulato del I libro degli *Elementi* di Euclide, e aggiunge il riferimento dotto a Talo, nipote di Dedalo, inventore del compasso, citando i versi di Ovidio (vd. *Metamorfosi* VIII 247-249: «era anche stato il primo a collegare due aste di ferro con un perno in modo che, mantenendo tra loro una distanza fissa, l'una restasse dritta e ferma e l'altra descrivesse un cerchio»; cfr. II 721).

Si può ritenere che l'autore si riferisca al modo in cui si forma il cerchio (cfr. 851 b 15 ss.), piuttosto che al movimento di una ruota, come spiega Hett in nota alla traduzione («*i.e.* a rotating wheel has a moving circumference but a stationary centre»); più genericamente Forster (1913) intende: «i.e. by the motion of a line round a fixed point». Vd. anche Mugler (1958, p. 8 s.) sullo sviluppo delle formule linguistiche che esprimono la costruzione delle figure, dei solidi in particolare; e sull'uso tecnico del verbo *menein* (p. 284): questo verbo ricorre molto frequentemente nella *Meccanica* per designare il comportamento del centro, di una parte di una figura geometrica o di ciò che può esserle assimilato (vd. la nota 260).

Bernardino Baldi contesta invece questa affermazione della genesi del cerchio dai contrari, sostenendo che esso si forma semplicemente dal movimento («dicimus … videri nobis circulum non ex contrarijs constitui, puta ex manente & moto, sed ex moto simpliciter», p. 8).

[25] Monantheuil propone di leggere qui δεύτερον invece di πρῶτον «namque hîc non prima […] sed secunda est in circulo repugnantia» (p. 18); in realtà immediatamente prima si parla dell'origine e della formazione del cerchio, ora delle proprietà conformi e conseguenti (vd. Cappelle, p. 137).

[26] L'ovvio riferimento è alla circonferenza. Nei *Topici*, nell'ambito di un'argomentazione tesa a esaminare le differenze relative al genere, e la definizione, Aristotele ricorre all'esempio della linea: «Inoltre bisogna vedere se chi definisce divide il genere con la negazione, come coloro che definiscono la linea dicendo che è una lunghezza senza larghezza – μῆκος ἀπλατές. Questo non significa altro se non che la linea non ha larghezza» (VI 6, 143 b 11-13). Nella *Metafisica* Δ 13, 1020 a 7 ss. si definiscono i significati di quantità: «Una quantità è una pluralità se è numerabile; è invece una grandezza se è misurabile. Si chiama pluralità ciò che può dividersi in parti non continue; si chiama invece grandezza ciò che è divisibile in parti continue. Fra le grandezze, quella continua in un'unica dimensione è lunghezza; quella continua in due dimensioni è larghezza e quella continua in tre dimensioni è profondità. Una molteplicità delimitata è un numero, una lunghezza delimitata è una linea, una larghezza delimitata è

una superficie e una profondità delimitata è un corpo [...] la linea è una quantità per sé, il musico invece è una quantità per accidente. Fra le quantità per sé, alcune sono tali per loro essenza: la linea per esempio è una quantità per sé, perché la quantità è inclusa nella nozione che esprime l'essenza stessa della linea» (ll. 8-19); cfr. *Categorie* 6, 5 a 1-3). Significativo è il confronto tra il passo della *Meccanica* e le definizioni euclidee di linea (*Elementi* I, def. 2: γραμμὴ δὲ μῆκος ἀπλατές), e di cerchio (*Elementi* I, def. 15: κύκλος ἐστὶ σχῆμα ἐπίπεδον ὑπὸ μιᾶς γραμμῆς περιεχόμενον). Per il peso che questo confronto può avere nella discussione sull'autenticità e sulla datazione del trattato, vd. Krafft 1970, p. 78 ss.; Micheli 1995, p. 45 ss.

Merita attenzione anche la distinzione aristotelica tra 'linea matematica' e 'linea fisica', 'linea sensibile', per cogliere la vastità di indagine e la complessità concettuale in cui si situa questo trattato. Nella *Fisica* (II 2, 193 b 22 ss.), distinguendo tra matematica e fisica, tra fisica e astronomia, si afferma che le determinazioni matematiche sono astratte dal movimento ed esistono senza la materia; inoltre, la fisica studia le forme in quanto necessariamente riferite alla materia: «I corpi fisici posseggono superficie e volumi, linee e punti, sui quali indaga il matematico [...] La geometria indaga sulle linee fisiche – περὶ γραμμῆς φυσικῆς, ma non in quanto fisiche; l'ottica, invece, fa oggetto d'indagine le linee matematiche – μαθηματικὴν ... γραμμήν, ma non quanto matematiche, bensì in quanto fisiche» (193 b 23-25; 194 a 10-12). Nell'ambito dei diversi oggetti d'indagine delle singole scienze, si precisa nella *Metafisica*: «L'astronomia non potrebbe avere come oggetto di studio grandezze sensibili, né avere come oggetto di studio questo cielo sensibile. Infatti, né le linee sensibili – αἱ αἰσθηταὶ γραμμαί – sono quali le intende il geometra (infatti, nessuna delle cose sensibili è retta o curva come vuole il geometra, il cerchio sensibile non incontra la tangente in un punto – κατὰ στιγμήν, ma la incontra nel modo che diceva Protagora nelle sue confutazioni dei geometri), né i movimenti e le rivoluzioni reali del cielo sono identiche a quelle di cui parla l'atronomia, né i punti – τὰ σημεῖα – hanno la stessa natura degli astri» (B 2, 997 b 34-998 a 6).

[27] Sono ampi in questo caso i confronti con altre opere di Aristotele; particolare rilievo ha un passo della *Fisica* in cui si condensano in modo efficace concetti strettamente correlati: «Dal momento che l'*istante* – τὸ νῦν – è fine e principio del tempo, ma non dello stesso tempo, ma fine del passato e inizio del futuro – come il cerchio che nello stesso punto è in qualche modo concavo e convesso – ὥσπερ ὁ κύκλος ἐν τῷ αὐτῷ πως τὸ κυρτὸν καὶ τὸ κοῖλον, così anche il tempo sarà sempre al principio e alla fine. Per questo motivo esso sembra essere sempre differente. L'*istante* infatti non è principio e fine della

stessa parte. I contrari, altrimenti, sarebbero nello stesso tempo e secondo il medesimo rispetto» (IV 13, 222 a 33-b 6).

Anche in altre opere aristoteliche, il concavo e il convesso appaiono come aspetti correlati, vd. oltre ai passi ricordati nella nota seguente: *Anima* III 10, 433 b 21-27 («ciò che muove in quanto strumento si trova lì dove principio e fine s'identificano, com'è, ad esempio, la giuntura; qui infatti il convesso e il concavo costituiscono la fine e il principio – per questo il secondo è in quiete, mentre il primo si muove –, essendo diversi logicamente, ma inseparabili per la grandezza. Infatti tutte le cose si muovono per spinta e per trazione, e perciò, come in un cerchio, dev'esserci un punto che rimanga fermo e da cui abbia inizio il movimento»); *Etica Eudemia* II 1, 1219 b 32-34 («Non fa alcuna differenza se l'anima è divisibile in parti o indivisibile, ma ha tuttavia facoltà diverse e cioè quelle enumerate, proprio come in un oggetto curvo il concavo e il convesso sono inseparabili»); *Etica Nicomachea* I 13, 1102 a 28-32 («Se queste parti dell'anima sono distinte come le parti del corpo e come tutto ciò che è divisibile o se sono due perché hanno definizioni diverse, ma per natura sono inseparabili come nella circonferenza il convesso e il concavo, non ha nessuna importanza per la presente ricerca»).

Nel quarto libro della *Meteorologia*, si definiscono i corpi 'flessibili' in relazione ai diversi passaggi, movimenti, trasformazioni, da curvi in diritti e viceversa: «La flessibilità e la raddrizzabilità sono l'attitudine di un corpo a deformarsi incurvandosi o raddrizzandosi, ed un corpo che si piega in un verso o nell'altro è flessibile. Ancora, l'attitudine a deformarsi in concavo o convesso, rimanendo invariata la lunghezza, è flessibilità: se infatti fosse anche l'attitudine a diventare diritto, il corpo sarebbe allo stesso tempo flesso e diritto; ed è evidentemente impossibile che il diritto sia flesso. E se ogni corpo che si flette lo fa in un verso o nell'altro, con deformazione in concavo o convesso, non vi è flessibilità nel senso di diventare diritto, ma due processi distinti: flessibilità – κάμψις – e raddrizzabilità – εὔθυνσις», IV 9, 385 b 31-386 a 7; cfr. *Locomozione degli animali* 9, 708 b 22-30 («La flessione è il passaggio da una posizione retta ad una curva o angolata, la tensione il passaggio da queste ultime alla posizione retta. In tutti i cambiamenti menzionati è necessario che la flesssione o la tensione abbia luogo con riferimento ad un punto. Ma se non vi fosse flessione non vi sarebbero né deambulazione né nuoto né volo. Dal momento poi che gli animali provvisti di piedi si reggono e poggiano il loro peso alternatamente su una delle gambe contrapposte, è necessario che mentre una di esse avanza l'altra compia una flessione»); 1, 704 a 18 ss. («L'uomo flette le gambe nel senso della convessità, l'uccello in quello della concavità; e l'uomo stesso flette in modo contrario le gambe e le braccia, giacché piega queste ultime nel senso

della concavità, le ginocchia invece in quello della convessità [...]»); si è detto nell'introduzione dell'applicazione di principi meccanici all'analisi del movimento degli animali.

A queste due diverse conformazioni e figure si fa più volte riferimento nel C. A. nel descrivere e nell'analizzare diverse realtà anatomiche e geometriche, movimenti e direzioni; vd. per es. *Ricerche sugli animali* I 14, 493 b 2-4; *Parti degli animali* II 9, 654 b 19 s.; IV 8, 683 b 34 s.; *Problemi* V 11, 881 b 28-36 («Perché ci si stanca di più a sdraiarsi su superfici piane che su superfici concave? Forse per lo stesso motivo per cui sulle superfici convesse ci stanchiamo di più che sulle piane? …»); XXVI 1, 940 a 21-23 e 29, 943 b 1 (si descrivono la direzione e il movimento dei venti); XXXI 25, 960 a 3-6 (in questo interessante passo ci si sofferma sull'incapacità dei miopi di distinguere le parti concave e convesse degli oggetti).

[28] I confronti più utili, per comprendere questa affermazione e i concetti che essa presuppone, sono con le *Categorie* (6, 4 b 20-7, 8 b 24) e con il trattato sul *Cielo*. «Alcune quantità sono costituite dalle parti esistenti in esse le quali hanno una posizione reciproca, altre non da parti che hanno posizione. Ad esempio, le parti della linea hanno una posizione reciproca: infatti ciascuna di esse giace in qualche posto, e si potrebbe distinguere ed esplicare dove ciascuna giace nel piano ed in relazione a quale delle altre parti si connette» (*Cat*. 6, 5 a 15-20). «Alla quantità niente è contrario […] a meno che non si dica che *molto* è contraio a *poco* o che *grande* lo è a *piccolo*. Ma nessuna di queste cose è una quantità, bensì fanno parte dei relativi. Nulla infatti è detto in sé e per sé grande o piccolo, ma è rapportato ad altro: ad esempio, una montagna è detta piccola ed un chicco di miglio grande per il fatto di essere il secondo più grande delle cose del medesimo genere, la prima più piccola delle cose del medesimo genere. Quindi il riferimento è ad altra cosa, perché se fosse per se stesso che si dice *piccolo* o *grande*, la montagna non sarebbe mai detta piccola ed il chicco di miglio grande […] è in relazione ad altro che si vedono il grande e il piccolo. Di conseguenza è chiaro che queste cose si annoverano tra i relativi» (*Cat*. 6, 5 b 11-29).

«Noi consideriamo come contraria per eccellenza alla linea circolare quella retta, in quanto il concavo e il convesso si considerano opposti non solo fra di loro, ma anche in rapporto al rettilineo, se sono uniti e formano un tutto; di conseguenza, se c'è un moto contrario, al moto circolare è per eccellenza contrario quello rettilineo» (*Cielo* I 4, 270 b 33-271 a 3). Questi passi sono molto importanti per capire in che senso Aristotele intenda la contrarietà del concavo e del convesso. Micheli, commentando l'opinione di Giovanni Battista Benedetti (p. 152), secondo cui è falso che il convesso sia connesso con il concavo nella stessa linea (opinione discussa da Guevara, p.

36), giustamente osserva: «occorre rilevare che anche in questo caso le proprietà della concavità e della convessità della linea circolare (puramente geometrica) sono poste in evidenza mediante un atto operativo di apprensione, il movimento di flessione, per cui esse appaiono immediatamente, in modo inscindibile nella stessa linea» (1995, p. 44 s.). Certamente il punto di vista (cioè il guardare il cerchio dall'esterno o dall'interno) contribuisce a definire questo tipo di contrarietà, come argomenta Krafft (1970, p. 83); sembra in ogni caso essenziale tener conto anche della riflessione sul rapporto tra inizio e fine nel cerchio.

Monantheuil richiama l'attenzione sulla presenza dell'avverbio indefinito πως (l. 24) «quodammodo»: rifacendosi alle *Categorie*, sottolinea che concavo e convesso non sono «vere contraria», ma sono dei relativi dotati di un medio (p. 18 s.). Qui si ricorre a una comparazione per chiarire, come spesso accade sia nell'argomentazione scientifica e filosofica sia nella produzione più propriamente letteraria: 'si può' rendere esplicita una differenza attraverso un'altra.

La categoria della quantità, il grande e il piccolo, il molto e il poco, è utilizzata spesso in Aristotele per esemplificare ciò che si può dire in senso assoluto o relativo; vd. per es. *Riproduzione degli animali* V 7, 787 a 11 s.

[29] Il concetto di intermedio ha grande rilevanza nella cultura greca in vari ambiti: nella metafisica e nell'ontologia, nella gnoseologia, nell'etica, nell'antropologia, nella religione, e nella logica dove è legato ai concetti di 'contrario', 'contraddittorio' e 'terzo escluso': nel sillogismo indica il termine medio. Nella *Fisica* (V 3, 226 b 18 ss.), *to metaxy* è definito insieme con altri concetti implicati nel movimento ('insieme', 'separato', 'in contatto', 'consecutivo', 'contiguo', 'continuo'): «Ogni cambiamento è fra termini opposti, mentre gli opposti sono contrari o contraddittori, e la contraddizione non ammette alcun termine intermedio: è allora evidente che 'intermedio' sarà il termine che è fra i contrari» (227 a 7-10). Vd. anche *Fisica* V 5, 229 b 14-20, dove si analizzano i diversi movimenti contrari, e la direzione verso il mutamento («I movimenti che vanno verso il termine intermedio – per tutti quei movimenti per i quali sussiste un intermedio fra i contrari –, bisogna considerarli come se procedessero verso i contrari. Ciò in quanto il movimento si serve dell'intermedio come contrario, in qualunque direzione proceda il mutamento: ad esempio, il movimento dal grigio verso il bianco avviene come se il punto di partenza sia il nero, e il movimento dal bianco verso il grigio, come se la direzione del mutamento sia verso il nero [...]; questo perché il medio è nominato in riferimento ad entrambi gli estremi»); *Metafisica* I 7, 1057 a 18-b 34 («Poiché fra i contrari può esserci un termine intermedio, e, in alcuni casi, c'è effettivamente, è necessario

che questi termini intermedi siano composti da contrari [...] Intermedi chiamiamo appunto quei termini attraverso i quali deve prima passare ogni cosa che si trasmuti nel suo contrario: per esempio, se si vuol passare gradatamente dalla corda della lira che ha il suono più basso a quella che ha il suono più alto, si dovrà passare prima attraverso i suoni intermedi; se si vuol passare nei colori dal bianco al nero, si dovrà passare attraverso il bruno e il grigio prima di giungere al nero [...] non è possibile che ci sia un passaggio da un genere ad un altro genere, se non per accidente [...] è necessario che sia gli intermedi fra loro, sia i contrari di cui sono intermedi, appartengano al medesimo genere. D'altra parte, tutti gli intermedi sono intermedi fra due determinati opposti, perché solo a partire dagli opposti in quanto tali ha luogo il mutamento – ed è appunto per questo che è impossibile che ci sia un intermedio fra cose che non sono opposte. Ora, tra i due opposti della contraddizione – ἀντιφάσεως – non c'è un termine intermedio [...] Gli altri tipi di opposizione sono: la relazione, la privazione e la contrarietà. Ora, dei termini relativi, tutti quelli che non sono contrari non hanno un termine intermedio [...] Invece, c'è un termine intermedio fra il grande e il piccolo», 1057 a 18-b 1). Cfr. lo scolio al testo della *Meccanica* 847 b 26 in Bottecchia 1982, p. 145, e 2000, p. 140 («Gli uni e gli altri, infatti, sono verosimilmente contrari agli intermedi: poiché intermedio del piccolo e del grande è l'uguale, del convesso e del concavo il rettilineo. E come non è possibile trasmutare da piccolo a grande o all'inverso senza prima trasmutare nell'uguale, così nemmeno è possibile trasmutare in concavo da convesso o in convesso da concavo senza prima trasmutare nel rettilineo»).

Per l'opposizione dell'uguale (*to ison*) al grande e al piccolo, vd. *Metafisica* I 5, 1055 b 30-1056 b 2. La nozione di 'retto' e di 'curvo' è richiamata da Aristotele anche come esemplificazione, vd. per es. *Topici* VI 11, 148 b 26 ss.; *Analitici secondi* I 4, 73 a 38 s.

A *to euthy* si oppone *to peripheres*, così come il movimento in linea retta è opposto a quello circolare. «Tutto ciò che è in movimento si muove o di un moto circolare o retto o misto», vd. *Fisica* VIII 8, 261 b 28 s.: nel passo si dimostra che il movimento rettilineo non è continuo, mentre il moto circolare è continuo e infinito; cfr. VII 4, 248 a 18 ss.; *Cielo* I 2, 269 a 19 ss.

[30] Cfr. *Cielo* I 4, 270 b 34 ss.; *Fisica* IV 13, 222 b 2 s. Per l'uso di questi termini in geometria, vd. Mugler 1958, pp. 254 s.; 263 s.

[31] Ciò che è *atopon* si oppone a ciò che è *anankaion* (*Cielo* II 8, 289 b 15), mentre si avvicina concettualmente a ciò che è *paralogon*, *alogon* (*Anima* I 5, 411 a 14; *Parti d. an.* I 5, 645 a 11; *Riproduzione d. an.* II 1, 734 a 7; 10), *adynaton* (*Fisica* IV 8, 216 b 11 s.; I 2, 185 a 30; *Metafisica* N 2, 1089 a 12 s.) .

[32] Cfr. l. 19 s. Monantheuil (p. 20) propone di leggere τρίτον al posto di δεύτερον: «Hic enim tertia est repugnantia in circulo»; vd. qui la nota 25 (*ad* 847 b 23).

I commentatori si sono interrogati sulla validità di questa contrarietà e sul modo di intenderla: i movimenti non sono solo contrari, ma anche contemporanei. Monantheuil considera, avvalendosi di uno schizzo, i movimenti contrari in 'andata' e in 'ritorno' e le varie posizioni dell'estremità del raggio ('in alto' e 'in basso'), precisando che essi non avvengono contemporaneamente «secundum eandem partem» (p. 21). Baldi fa notare la relatività di questa contrarietà (p. 9 s.). Cappelle (p. 137 s.) porta a confronto un passo della *Fisica* sui movimenti contrari (V 5, 229 b 21 s.), sottolineando l'importanza di questo concetto. Il rapporto tra tempo e movimento è ampiamente indagato da Aristotele: «ogni movimento è nel tempo» (*Fisica* VI 2, 232 b 20); la loro analisi non può prescindere dai concetti di 'continuo', 'contiguo', 'consecutivo', e dal principio della divisibilità. Qui, l'enfasi è posta sulla direzione contraria nell'ambito di uno stesso movimento; Forster (1913) spiega nella nota che se si divide un cerchio in due metà α e β, quando il cerchio ruota in avanti α muoverà verso δ e β verso γ (vd. Fig. 1; per le figure tratte da Forster, il riferimento è all'edizione del 1913). Altrettanto possibile sarebbe raffigurare lo stesso concetto con i due punti estremi del diametro (cfr. l. 19 ss.). Il testo non è esplicito, ma ciò che segue, riproponendo il diffuso principio argomentativo della coincidenza, nel cerchio, tra inizio e fine, fa propendere per un riferimento alle distinzioni preliminari che Aristotele introduce nell'analisi del movimento: 'ciò in cui', 'ciò da cui' e 'ciò verso cui', il punto di partenza e il punto di arrivo; vd. per es. *Fisica* V 1, 224 a 35-b 1; 5, 229 a 7 ss. (in particolare 229 a 21: «avviene simultaneamente il procedere dal contrario e l'andare verso il contrario o il suo intermedio»). Utile è anche il confronto con un passo del trattato sul *Cielo* I 8, 277 a 23 s., dove si afferma che nel moto circolare i punti estremi del diametro sono in un certo senso opposti; ma considerato nella sua totalità non vi è nessun punto contrario.

[33] Si tratta ovviamente del raggio; l'espressione dimostrerebbe secondo Krafft (1970, p. 81) la datazione alta del trattato, in quanto in Euclide ricorre il nesso ἡ ἐκ τοῦ κέντρου, per indicare il raggio di un cerchio (vd. Mugler 1958, p. 164). Cfr. *Cielo* I 5, 272 a 13 s. Poco dopo il raggio è designato con l'espressione ἡ ἐκ τοῦ κέντρου γραμμή (848 a 15; vd. anche 849 a 10 s.; 20 s.; b 24; 850 a 37; b 15 s.; 852 a 17; 21 s.; b 8; 14 s.; 21; 33; 857 a 30 s.; 852 b 9; cfr. 853 a 11 s.; 854 a 12 s.; 850 a 9; 14).

[34] Cfr. Euclide, *Elementi* I def. 3: «limiti di una linea sono punti – γραμμῆς δὲ πέρατα σημεῖα»; vedi anche I def. 17 (definizione del diametro).

[35] È essenziale, in questo contesto, l'esplicito riferimento alla continuità del movimento: l'interpretazione deve tenerne conto.

In un passo della *Fisica*, dove si parla del moto circolare uniforme come misura del movimento (IV 14, 223 b 19), e del tempo, si riferisce «la convinzione corrente» secondo cui «gli affari umani sono un circolo, e questa convinzione la si estende alle altre cose che hanno movimento naturale, generazione e corruzione. E questo in quanto tutte le cose sono caratterizzate dal tempo, e hanno fine e principio come fossero in circolo. Anche il tempo, infatti, sembra essere un certo cerchio. E questa credenza si presenta di nuovo in questo modo, in quanto il tempo è misura di un tale moto e esso stesso è misurato da un tale movimento. Sicché dire che 'le cose che si generano sono un circolo', equivale a dire che 'di esse vi è un circolo di tempo'. E ciò in quanto esso è misurato per mezzo del moto circolare» (223 b 24-33).

[36] Questa precisazione che rimanda all'evidenza, all'atto dell'apprendere attraverso ciò che si constata con i sensi, è importante per capire l'impostazione del trattato, e per intuire il suo farsi anche attraverso l'immediatezza dell'esposizione.

[37] Monantheuil (p. 21) propone uno spostamento di questa conclusione; in realtà è difficile individuare una precisa partizione (cfr. anche Cappelle, p. 139, a proposito della l. 11 s.). Questo vale per la maggior parte dei trattati cosiddetti minori del *C. A.*, in cui il fluire del discorso segue piuttosto l'andamento di un'esposizione orale, e l'associazione delle idee. Più generalmente, l'argomentazione dei trattati antichi è ben diversa dal rigore e dalla stretta consequenzialità di quelli moderni.

[38] Ogni punto di una bilancia che oscilla ha un movimento circolare, o meglio semicircolare; per questo, le peculiarità del suo movimento dipendono da quelle del cerchio.

[39] L'ordine in cui si susseguono le varie questioni preannuncia l'esposizione che seguirà, e sottolinea la stretta connessione, l'interdipendenza tra le diverse questioni. Una stessa causa e uno stesso principio sono posti alla base di tutti i meccanismi; per una sorta di proprietà transitiva, tutto finisce per ricordursi alle peculiarità del cerchio e alle possibilità della leva: i congegni che verranno esaminati sono tutti essenzialmente delle leve. «L'autore richiama il ruolo centrale che contrarietà e meraviglia hanno nel dare al cerchio la dignità di principio esplicativo di ogni macchina e di fondamento della meccanica» (Micheli 1995, p. 47).

Vitruvio dà questa definizione di macchina: «Una macchina è un insieme strutturato di elementi di legno, che ha assai grande efficacia per spostare carichi. Essa viene azionata mediante rotazioni circolari, secondo il principio che i Greci chiamano *kyklike kinesis*» (*Architet-*

tura X 1, 1). Vd. anche X 1, 4: «Tutti i congegni meccanici devono la loro origine alla natura e il loro principio fondamentale alla rotazione del mondo, da cui traggono lezione e insegnamento»; 3, 1: «Ho esposto in breve le nozioni che ho ritenuto indispensabili riguardo ai sistemi di trazione. Quanto al loro movimento e alla loro efficacia, sono due fattori distinti ed eterogeni che, agendo in combinazione come principi fondamentali, producono tali effetti: il primo è quello della linea retta, che i Greci chiamano *eutheia*, l'altro quello del cerchio, cui i Greci danno il nome di *kyklote*» (sull'interpretazione di quest'ultimo passo, e sui termini usati, vd. Romano 1997, *ad loc.*).

Pierre Duhem, che come si è accennato nell'introduzione considera Aristotele l'anticipatore del principio delle velocità virtuali, ricorda questo passo e celebra Aristotele come il padre della meccanica razionale (vd. ed. 1991, p. 13).

[40] Opportunamente Cappelle (p. 140) richiama a questo punto la differenza tra «κινεῖσθαι moveri et φέρεσθαι ferri» in Aristotele; «Omnia igitur quae φέρονται, etiam κινοῦνται, non vero omnia quae κινοῦνται, itidem φέρονται». Nella *Fisica* vengono distinti i movimenti secondo la qualità, la quantità e il luogo: il termine *phora* indica il 'moto locale', secondo lo spazio (vd. in particolare V 1, 225 b 7-9; 2, 226 a 24-b 9; VIII 7, 260 a 26-29; cfr. *Metafisica* A 5, 986 a 10; *Problemi* XV 3, 910 b 35 s.). Anche la *metabole* è un tipo di *kinesis*; nella *Generazione e corruzione* (I 4, 319 b 31 ss.) si distinguono quattro *metabolai*, nel passaggio da un contrario all'altro: quando si attua in rapporto al luogo si ha 'traslazione' (*phora*); cfr. *Percezione e percepibili* 6, 446 b 28 ss. Per il rapporto tra movimento, spostamento e cambiamento, nei trattati tecnici e scientifici del *C. A.*, vd. in particolare il trattato sui *Colori* (Ferrini 1999, p. 115 s. e *passim*; 2008, p. 111 e *passim*). Sull'uso tecnico di *kinein* e *kinesis* (non ricorrenti negli *Elementi* di Euclide), e di *pheresthai* e *phora*, vd. Mugler 1958, pp. 249 s.; 446 ss.

[41] Cfr. 848 b 5-8; lo scolio (*ad* 848 a 17; vd. Bottecchia 1982, p. 146) commenta: «Come spesso ci è stato detto sia nel trattato sul *Cielo* sia in altri: si muove più velocemente ciò che più dista dal centro». Cfr. *Cielo* II 8, 289 b 17 ss.

Micheli riprende e discute la quadripartizione con cui Cappelle (p. 141 ss.) riassume e commenta le proprietà del cerchio, descritte dall'autore (847 b 19-21; 23-25; 848 a 4-5; 14-17 – la numerazione dell'autore comincia in realtà solo con 847 b 23, vd. le note 25 e 32): «Le contrarità inerenti al cerchio qui enunciate costituiscono il fondamento della meccanica. Si può dire con qualche ragione, come fa J. P. van Cappelle, che esse, tranne la quarta, non hanno alcun rilievo nella spiegazione dei singoli fenomeni meccanici. Ma non è esatto. In questa fase dell'esposizione, la quarta contrarietà è un mero enuncia-

to come le altre, e nasce dall'operazione di costruzione del cerchio (come la prima e la terza), mentre la seconda nasce dall'operazione del flettere. Ma assume poi un ruolo privilegiato, per cui pare che tutte le altre si concentrino in essa, quando viene ulteriormente articolata e precisata mediante ulteriori operazioni che ne fissano le modalità e che la adattano ad essere usata come un principio di analisi di fenomeni reali. L'ultima parte della premessa introduttiva generale è appunto dedicata a stabilire tali modalità che sono di tipo fisico, per cui la quarta contrarietà assume, in un certo modo, quasi il ruolo che ha in geometria il postulato. Trae comunque la sua legittimità dal proceso generativo innescato dalla meraviglia, ed è quindi inscindibilmente legata alle altre. Gli autori rinascimentali che mettevano in discussione il carattere di contrarietà dei primi assunti minavano alla base la validità del principio stesso» (1995, p. 48).

Heath nel delineare l'idea espressa in questo passo («The idea seems to be that [...] the action of the force or 'power' is equivalent to a smaller weight traversing a greater distance and balancing the larger weight which traverses a shorter distance», 1998, p. 228), la mette in relazione con quella dei passi del *Cielo* (III 2, 301 b 4-13) e della *Fisica* (VII 5, 249 b 30-250 a 4), spesso citati come contenenti un'anticipazione del 'principio delle velocità virtuali'. Vd. anche la nota 39.

[42] Alla contrarietà già enunciata (848 a 4) viene collegato il meccanismo cui si fa qui riferimento. 'In avanti' è il movimento rotatorio in una direzione; 'indietro' è il movimento nella direzione opposta.

[43] Per questo uso della preposizione ἐπί, vd. Mugler 1958, p. 187 ss.; Cambiano 2006, p. 65 ss.

[44] Vd. Fig. 2. Il riferimento può essere ai rotismi, ai congegni realizzati con ruote dentate (vd. Monantheuil p. 24 s.; Biancani p. 150; Guevara p. 38); o più generalmente a ingranaggi sui cui si basava la costruzione degli automi, atti a suscitare meraviglia. In Erone la rotella di bronzo è detta *hagnisterion* (vd. *Pneumatica* I 32, p. 148; II 32, p. 298, 9 Schmidt; cfr. *Meccanica* I 2 ss., p. 6 ss. Nix). Da notare che i commentatori rinascimentali interpretano tenendo presenti i meccanismi del loro tempo; vd. per es. Guevara, p. 38: «[...] quemadmodum videre est in horologijs, alijsque similibus machinis». Così anche Hett, vd. la nota 49.

Cappelle (p. 140) si chiede se tali cerchi dentati fossero in uso al tempo di Aristotele, e osserva che la connessione tra i cerchi poteva essere realizzata sia con denti, sia con corde: anche il solo attrito potrebbe spiegare il movimento descritto. Tra i commentatori moderni, Feldhaus ritiene che i cerchi di cui si parla siano proprio ruote dentate (1985, p. 134); Drachmann invece sostiene che il risultato poteva essere raggiunto anche col solo attrito, dato che si doveva vincere

una debole resistenza, senza pensare necessariamente a ruote dentate (1963, p. 13 s.).

In un interessante passo del trattato aristotelico sul *Cosmo*, si paragona la capacità di Dio «di realizzare forme di ogni genere con facilità e con semplice movimento» a quella degli «ingegneri – οἱ μεγαλότεχνοι – i quali, con un solo tiro di una unica fune di un congegno, compiono varie e molteplici operazioni. Similmente anche i burattinai – οἱ νευροσπάσται – tirando una sola cordicella, fanno muovere collo e mani del loro fantoccio animato, e spalle e occhi e anche tutte quante le membra, con una certa euritmia» (6, 398 b 13-19; cfr. Ateneo, *Sofisti a banchetto* I 19 e). A quale preciso congegno ci si riferisca non è possibile dire con certezza; questo e altri passi dimostrano invece «come l'esempio delle marionette meccaniche fosse caro ad Aristotele» (Reale/ Bos 1995, p. 331, *ad loc.*). vd. *Moto d. an.* 7, 701 b 1-16; *Riproduzione d. an*. II 1, 734 b 9 ss.; 5, 741 b 7 ss.; *Metafisica* A 2, 983 a 14; cfr. Platone, *Leggi* I 644 d-e; X 893 b-d.

[45] Sull'uso del verbo ἅπτεσθαι in geometria, vd. Mugler 1958, p. 80 s.

[46] Seguo il testo di Apelt; così anche Hett.

[47] La nozione di 'consecutivo' (τὸ ἐφεξῆς, τὸ ἑξῆς), successivo, è ampiamente analizzata da Aristotele e distinta da altre, quali la nozione di 'contatto' (τὸ ἅπτεσθαι), di 'contiguo' (τὸ ἐχόμενον), di 'continuo' (τὸ συνεχές); vd. per es. *Fisica* V 3, 226 b 19 ss.; VI 1, 231 a 21 ss.; *Metafisica* K 12, 1068 b 27 ss.

[48] Qui il termine δημιουργός indica chi è del mestiere, il costruttore che opera possedendo specifiche abilità e competenze.

[49] Molto interessante è il confronto con un passo delle *Leggi* di Platone, in cui ci si sofferma sui tipi di movimento e sulla sua trasmissione: «Coraggio! Se mai ci è capitato di dover chiamare in aiuto la divinità, questo è il momento: si invochino con tutta la devozione possibile gli dèi perché ci assistano nella dimostrazione della loro esistenza. Tenendoci ad essi come ad una fune ben sicura inoltriamoci ora nel vivo della ricerca [...].

Se qualcuno mi dicesse: "È vero che tutto resta immobile e nulla si muove? O vale il contrario? O è vero che certe cose si muovono ed altre stan ferme?"

Risponderei: "Alcune si muovono, altre stan ferme".

E non ti pare che le cose che stan ferme stanno in un certo spazio, e così pure quelle che si muovono, si muovono in un certo spazio?

Non c'è dubbio.

E alcune cose si muoveranno stando in un solo posto, altre in più posti?

Diremo, a questo punto: "Intendi riferirti a quelle realtà che hanno la possibilità di stare in equilibrio nel centro e che si muovono in

un sol luogo, esattamente come avviene per i cerchi che si dice sian fermi anche quando le loro circonferenze stanno ruotando?"

Proprio così. Ma noi sappiamo anche che in questo movimento di rotazione il cerchio maggiore e quello minore ruotano insieme, e il moto si distribuisce in quantità proporzionale ai cerchi piccoli e a quelli grandi, essendo in proporzione minore e maggiore. E sta proprio qui la fonte di tanti fenomeni inspiegabili, nel fatto, cioè, che uno stesso movimento possa comunicare in misura proporzionale ad un tempo lentezza o velocità a cerchi grandi e piccoli. E questa proprietà, e quanto uno si aspetta, appare inverosimile.

Dici cose verissime.

Per quanto poi concerne le cose che si muovono in più posti, credo che tu ti riferisca alle realtà dotate di movimento di traslazione che passano continuamente da un posto all'altro, e fra queste alcune hanno un solo asse di movimento, altre più assi, per il fatto che si spostano rotolando. E quando queste realtà vengono a contatto fra di loro, se urtano contro un essere immobile, si frantumano; se invece convergono da direzioni opposte in un sol punto, si compenetrano, divenendo ciascuna l'intermedio, ossia la metà dei composti che formano» (X 893 b-e; vd. anche 898 a-b).

La meraviglia dipende nella *Meccanica* dal fatto che chi guarda non conosce l'origine del meccanismo, gli elementi e gli aspetti che ne sono alla base: non è evidente la causa del movimento. Hett nota che non è chiaro a quale macchina l'autore si riferisca; propone tuttavia un confronto: «a modern watch illustrates his idea, in which the hands are the only visible wheels» (p. 336 s., *ad loc.*).

[50] Le diverse dimensioni delle bilance sono da riferire alla diversa lunghezza del giogo, dei bracci. La precisione è connessa, come si vedrà più avanti, con la capacità della bilancia di pesare anche quantità minime. Galluzzi richiama a questo proposito un passo di Leonardo contenuto nel *Codice sul volo degli uccelli* (f. 1r.), che egli interpreta in collegamento con questa prima questione: considerando giustamente la difficoltà di ammettere una conoscenza diretta del testo aristotelico da parte di Leonardo, ipotizza una dipendenza di Leonardo da qualche testo latino o volgare (1979, p. 85 s.); vd. qui nell'introduzione la nota 187.

La contrarietà del cerchio precedentemente illustrata (848 a 14-17) viene ora approfondita attraverso una domanda e la discussione di un caso concreto.

Il principio della diversa velocità dei raggi di diversa lunghezza è fondamentale nella discussione di molti altri problemi. Monantheuil apprezza pertanto la sua dimostrazione a questo punto del trattato: «Quod quia futurum est fundamentum multorum aliorum problematum postea explicandorum, diligenter imprimis demonstrat» (p. 27).

[51] 'La linea che è più lontana dal centro' (l. 4) è il raggio più lungo; poco più avanti, il riferimento ai cerchi concentrici di grandezza diversa, con raggi ovviamente di lunghezza diversa, diventa esplicito. Qui si parla ancora genericamente di un cerchio: si può intendere che la diversa velocità sia riferita a una parte del raggio (vd. Hett, p. 337), o a un punto su di esso (cfr. 848 a 15 s.); Bottecchia traduce: «il punto sul raggio che più dista dal centro si muove più velocemente del punto sul raggio che è più vicino al centro» (2000, p. 61).

Anche in seguito, l'intensità della forza che di volta in volta agisce sarà costantemente notata.

[52] Aristotele si sofferma frequentemente sulla definizione dei significati dei termini, definizione che deve essere preliminare a ogni ricerca, e che si impone come necessaria perché non si creino fraintendimenti, nella consapevolezza più volte espressa, secondo cui i vari termini possono dirsi *pollachos/ dichos*; vd. per es. *Topici* V 2, 129 b 30-130 a 28; VIII 3, 158 b 8 ss.; *Fisica* VI 2, 233 a 24; *Metafisica* Λ 5, 1071 a 29 ss.; *Parti d. an.* II 2, 648 a 36-649 b 8.

Questa definizione comparativa della velocità (o meglio, di ciò che è più veloce) corrisponde a quella che si legge nella *Fisica* VI 2, 232 a 23-27: «Poiché ogni grandezza è divisibile in grandezze – si è infatti dimostrato che è impossibile che il continuo sia composto da parti indivisibili e ogni grandezza è continua –, necessariamente il corpo più veloce percorre una distanza maggiore in un tempo uguale, e una distanza uguale in un tempo minore, cioè esso percorre una distanza maggiore in un tempo minore: in questo modo si determina ciò che è più veloce». Vd. anche la nota 190 dell'introduzione.

La velocità non è pertanto una nozione autonoma; bisogna anche tener conto del fatto che nell'antichità manca un concetto generale di grandezza, vd. Krafft 1970, p. 71; Souffrin 1992. Kuhn propone interessanti considerazioni sul concetto di velocità in Aristotele, quale appare nella *Fisica* (VI 2, 232 a 25-31; 232 b 20-233 a 16; VII 4, 249 b 4; 5, 249 b 30-250 a 4), e sul confronto con la concezione moderna di velocità. Il moto è concepito in Aristotele come un mutamento da uno stato all'altro, e il concetto di velocità è discusso quasi sempre in rapporto a questa idea del moto, assomigliando a ciò che oggi si chiamerebbe 'velocità media'. D'altra parte, Aristotele parla anche della velocità di un oggetto in un istante, senza riferirsi a punti conclusivi del moto; la distinzione fondamentale per noi tra velocità media e velocità istantanea non è in ogni caso considerata o espressa esplicitamente, né operante: la 'velocità' della fisica aristotelica consiste in una relazione di somiglianza, in un aggregato di esempi tra i quali intercorrono sia somiglianze sia differenze (1964, in particolare pp. 313 s.; 321 ss.).

[53] Cfr. Euclide, *Elementi* I ass. 8; III def. 1.

Monantheuil precisa che qui non si deve tanto intendere il cerchio, quanto la linea che lo delimita (p. 28).

[54] Il principio della composizione del movimento, qui introdotto (cfr. 852 a 8), può essere confrontato con l'argomentazione sulle varie forme di moto contenuta nella *Fisica* (VIII 8, 261 b 27 ss.; 9, 265 a 13-17: «Che il movimento circolare sia il primo dei movimenti locali, è evidente. Ogni moto locale, infatti, come prima è stato detto, è o circolare, o retto, oppure misto. E di necessità i primi due sono anteriori ai secondi, poiché questi risultano costituiti da quelli. Il moto circolare è prima di quello rettilineo, in quanto è più semplice e perfetto») e nel *Cielo* (I 2, 268 b 17-20: «Il moto locale, che è quello che noi chiamiamo 'traslazione' – φοράν, è sempre o rettilineo, o circolare, o misto, risultante dalla loro composizione, perché semplici sono questi due soli. E la ragione è che ci sono anche due sole grandezze semplici, la linea retta e quella circolare»). In un passo della *Meteorologia* I 4, 342 a 16-27, il moto 'obliquo' delle stelle cadenti è considerato la risultante di due moti.

De Gandt sottolinea il fatto che la diversità della velocità a seconda della distanza dal centro non è solo accettata come «un fait géométrique», ma è spiegata anche dinamicamente: una stessa forza ha effetti diversi; la differenza di velocità è dovuta al carattere composito del moto circolare. Definisce inoltre «assez remarquable» la dimostrazione del principio della composizione dei movimenti uniformi, ricordando anche che si tratta della prima ricorrenza di questa legge (1982, p. 120). Per la discussione su questo principio e sull'importanza che la sua formulazione nella *Meccanica* può avere in relazione al problema della paternità di quest'opera, vd. Micheli 1995, p. 52 ss.: enunciata la «quarta contrarietà nella forma dei centri concentrici diseguali» si fa una «precisazione relativa alla valutazione della variazione del movimento». Sull'originalità di questa analisi del movimento richiama l'attenzione anche Vilain (2008), invitando tuttavia a non considerarla in conflitto o in contraddizione con la *Fisica*, dato che gli scopi e gli oggetti di indagine sono diversi (pp. 155 e 171). Vilain si sofferma sulla ripresa dell'argomentazione nella questione ottava, nella nona e nella dodicesima (p. 154 s.), e riassume le osservazioni dei commentatori rinascimentali (Piccolomini, Benedetti, Tartaglia, Cardano, Moletti), che hanno condotto l'analisi del movimento 'naturale' laterale, e 'violento' verso il centro.

Da questo passo emerge, secondo Monantheuil, la «quinta in circulo repugnantia», che suscita una 'meraviglia' ancora maggiore: «e lationibus enim illis una est secundum naturam, altera praeter naturam» (p. 29). Questa opposizione è ricorrente nei trattati rinascimentali, in relazione ai problemi del moto. Cfr. Aristotele, *Cielo* I 2, 268

b 20-269 b 13; 8, 277 a 12-b 26; III 2, 300 a 20-301 b 31; IV 1, 307 b 28-308 a 33.

Cappelle traduce: «duplex vis in diversa urget» (p. 11); nel commento (p. 146 s.) precisa che non solo la linea che descrive il cerchio, ma il cerchio stesso si muove «duobus motibus», facendo riferimento a passi della *Generazione e corruzione* (II 10, 336 a 33 ss.) e della *Metafisica* (Λ 8, 1073 b 3 ss: si tratta del famoso passo in cui si illustra tra l'altro la tesi di Eudosso sul movimento di traslazione del sole e della luna, e sui movimenti dei pianeti). Micheli giudica impropria la traduzione, in quanto con essa si introduce la nozione di forza, e non pertinenti i riferimenti, perché nei passi aristotelici richiamati si parla della combinazione di movimenti circolari cui sono sottoposte le sfere celesti (1995, p. 52, n. 58; vd. anche Heath 1998, p. 230). Molto interessante è invece la lunga nota di Cappelle relativa a 848 b 13-23, sia per le considerazioni fatte, alla luce della fisica del suo tempo, sulla conoscenza da parte di Aristotele del *principium compositionis et resolutionis motuum*, ma anche sulla sua limitata applicazione, sia per avere un sintetico quadro della ricezione di quest'opera aristotelica nell'ambiente scientifico di quell'epoca (pp. 151-154): l'eco di queste discussioni arrivò ai filologi; vd. Schneider (1801), *Eclogae Physicae* II p. 291.

[55] 'Ciò che si muove' può essere un 'punto', un 'oggetto', un 'corpo': considerando l'impostazione geometrica dell'argomentazione è forse preferibile pensare a un 'punto'.

Il termine διάμετρος (l. 12; ἡ διάμετρος γραμμή) è usato nel significato di 'diametro' o di 'diagonale', a seconda della figura cui ci si riferisce; qui indica la diagonale del quadrilatero, della figura ottenuta nel modo descritto. Nei *Problemi*, si dà una spiegazione di questa denominazione, chiedendosi: «Perché, tra le linee che dividono in due le figure formate da linee rette, si chiama diagonale solo la linea condotta da un angolo a un altro? Forse perché la diagonale divide in due la figura, come indica il suo nome, senza rovinarne la simmetria? La linea che divide la figura nei punti di congiunzione (voglio dire agli angoli) sarà quindi una diagonale» (XV 1, 910 b 11-15); e ancora: «Perché si chiama diagonale (*diametros*)? Forse perché solo questa linea divide la figura in due? È insomma come se uno dicesse *dichametros*. E perché è la sola, tra le linee che dividono una figura in due, a chiamarsi così? Forse perché è la sola a dividere la figura nei punti dove si articola, mentre le altre la dividono sui lati?» (2, 910 b 19-22). Cfr. *Cielo* I 4, 271 a 12 ('diametro'); *Moto d. an*. 3, 699 a 29 (Atlante è rappresentato nel mito come un 'asse', «come se fosse un diametro e facesse ruotare il cielo intorno ai poli»); Platone, *Timeo* 54 d; *Menone* 85 b; *Politico* 266 a-b; *Repubblica* VI 510 d.

La parola σχῆμα (l. 12), qui nel valore di figura geometrica, è uti-

lizzata in diversi contesti; il concetto che esprime è molto importante in ambito scientifico, filosofico e artistico. Nel *Menone* di Platone (73 e; 74 b-76 a), Socrate chiede a Menone 'che cosa sia una figura'; significativamente, l'analisi è condotta associando il concetto di colore, e si conclude con una definizione, forse di origine pitagorica, che collega la figura al concetto di limite (*peras*); cfr. Aristotele, *Topici* VI 4, 141 b 15 ss. (in particolare b 21 s.); *Metafisica* **Z** 2, 1028 b 16-18; **N** 3, 1090 b 5-7; *Categorie* 8, 10 a 11-26 (dove è utilizzato anche il termine *morphe*, e dove si fa riferimento non tanto a una determinazione geometrica, quanto alle forme che le cose hanno in natura); vd. anche Euclide, *Elementi* I def. 14.

Si noti qui l'uso del verbo συντιθέναι (l. 13) per indicare il 'comporre' le linee (vd. Mugler 1958, p. 403 ss.).

[56] Vd. Fig. 3. Si tratta della costruzione geometrica nota come 'parallelogramma delle forze' o dei vettori o delle velocità «mediante la quale, date due forze (o altri vettori: spostamenti, velocità) applicate a un medesimo punto, se ne ottiene la risultante, la quale è data in grandezza e direzione dalla diagonale costruita sul parallelogrammo avente per lati le due forze (o vettori)» (*Vocabolario Treccani*, Roma 1997[2], III p. 855). Il metodo permette di determinare la risultante di due vettori, in particolare di due forze; i due vettori sono rappresentati da due lati adiacenti di un parallelogramma, mentre la risultante è data dalla diagonale (vd. *Dizionario di Fisica*, Milano 1992, p. 175; tit. or. *A concise dictionary of physics*, Oxford 1985 – in seguito si farà riferimento a questo dizionario solo con il titolo italiano). Heath mette in evidenza che la stessa dimostrazione si leggerebbe oggi in un comune manuale (1998, p. 230).

[57] Forster legge τὸ μὲν Α (lezione di alcuni manoscritti), invece di τὸ μὲν ΑΓ; vd. la traduzione di Leonico Tomeo: «*a* quidem feratur versus *b*». Il movimento è da intendere in senso parallelo.

[58] Cioè ΑΒ sta a ΑΓ come ΑΔ sta a ΑΕ. Questo rapporto si mantiene costante; Cappelle commenta: «In hac demonstratione tacite et recte quidem Aristoteles ponit, eandem, quae initio fuerat, constanter manere motuum ad se invicem rationem. Totum autem ratiocinium optime procedit et mira simplicitate atque evidentia se commendat» (p. 150 s.).

[59] Il termine τὸ τετράπλευρον non è usato in testi precedenti a Euclide (vd. per es. *Elementi* I def. 19); in base ciò si è ritenuto che la *Meccanica* non possa essere di Aristotele, vd. Heiberg 1904, pp. 15 e 31, e la discussione di questa opinione in Krafft 1970, p. 91.

Nella *Meccanica* ricorre anche il termine τὸ ἑτερόμηκες (vd. 849 a 25; 856 b 27); esso indica il rettangolo che è 'oblungo' e costituito da due lati paralleli di lunghezza diversa (vd. Aristotele, *Categorie* 8, 11 a 10 s.; Euclide, *Elementi* I def. 22; cfr. Mugler 1958, p. 200). L'uso

dei termini τὸ τετράγωνον e τὸ τετράπλευρον fa riferimento propriamente a figure la cui struttura sia considerata relativamente agli angoli o ai lati (in questo passo l'attenzione è rivolta ai lati della figura); in geometria il primo vale genericamente 'quadrilatero', o 'quadrato' (vd. *Categorie* 8, 11 a 5 ss.; *Metafisica* I 3, 1054 b 2); il secondo è utilizzato, nel *C. A.*, qui e nei *Problemi* XV 6, 911 b 3. Cfr. Mugler 1958, pp. 418 ss.; 420 s.

[60] Cfr. Euclide, *Elementi* VI def. 1; V def. 3.

[61] Cfr. Euclide, *Elementi* VI 24; 26.

Si è sospettata qui una corruzione (Cappelle, p. 151, propone di leggere οὗ invece di πρός); in realtà si può altrettanto bene intendere così, presupponendo il raggiungimento di una posizione: πρός di l. 21 non ha lo stesso valore qui e nelle linee 15-17. Cappelle e Apelt scrivono πρὸς τὸ Ζ, sulla base del Par. A (la sigla Par. A indica in Cappelle e in Apelt il Parisinus gr. 2115).

[62] Vd. la nota 55.

[63] Ancora una volta nel testo vi è un generico participio neutro sostantivato, che potrebbe riferirsi al punto (cfr. 848 a 15 s.; così si può intendere dati il contesto e la dimostrazione geometrica), oppure a un oggetto, a un corpo.

[64] La preposizione ἐν può indicare il modo, il mezzo, la causa; per questo uso in Aristotele, vd. Eucken 1868, p. 24; Bonitz 1961, p. 245 b. Cfr. *Fisica* V 4, 227 b 25; VIII 8, 262 a 2 ss. Forster traduce «by two displacements». Hett «with two movements»; Krafft «infolge zweier Bewegungen» (1970, p. 25); Bottecchia «in base ai due moti» (2000, p. 63).

[65] Monantheuil (p. 31) propone uno schizzo per illustrare che con un rapporto diverso il movimento sarebbe sempre rettilineo, ma avverrebbe lungo la diagonale di una figura formata da lati che hanno un altro rapporto. Su questa relazione diversa, il testo in realtà non si sofferma; subito dopo si argomenta su quello che accade quando non ci sia alcun rapporto determinato, costante, fisso, definito: il movimento sarà curvilineo. La complessità del passo ha determinato valutazioni diverse da parte dei commentatori rinascimentali, anche relativamente al significato di περιφερές (l. 34); Benedetti per esempio conclude: «Huiusmodi igitur consideratio, ab Aristotele facta, nullius est momenti» (p. 152).

[66] La presenza di un nesso preposizionale κατὰ μηδένα χρόνον (l. 27, cfr. ll. 31 s. e 35) invece di un semplice avverbio sta a sottolineare il fatto che 'in nessun tempo determinato', 'in nessun intervallo temporale', dato o fissato in relazione alla durata del movimento, si ha un rapporto fisso. È di per sé evidente l'importanza, anche in considerazione di sviluppi e di approfondimenti futuri, di collegare strettamente nell'argomentazione le categorie dello spazio e del tempo.

Ciò corrisponde bene all'impostazione che Aristotele ha dato alla trattazione del movimento e del tempo.

[67] Micheli (1995, p. 54 ss.) si sofferma a lungo sulle varie interpretazioni del passo 848 b 23 ss., mettendo in evidenza che l'autore «vuole solo specificare che lo spostamento lungo il diametro dato si determina in base ad una proporzione invariabile fra i lati; se la proporzione è diversa da quella data, si avrà sempre un movimento rettilineo, e se non si ha una proporzione, si avrà invece un movimento curvilineo» (*ibid.* p. 54, n. 60). Hett p. 338, *ad loc.*, spiega: «a body the ratio of whose velocities in two fixed directions is not constant cannot move in a straight line».

[68] Questa è la tipica formula che introduce una dimostrazione geometrica; altri intendono: 'supponiamo che sia in linea retta'.

[69] Cfr. 849 a 25 s. (sulla base di questo confronto, Cappelle – p. 156 – spiega: «*circumcompletis lateribus*, id est, *constructo parallelogrammo, cujus diametros sit data linea*»); 854 b 29 s. e 37. Per l'uso del verbo (παρα)πληροῦν, vd. Platone, *Menone* 84 d; Euclide, *Elementi* II def. 2 (si usa il sostantivo *parapleroma*); VI 16; 23; cfr. III 25.

[70] L'interpretazione di tutto il passo è come si è detto tra le più controverse dell'intero trattato. Bisogna tener conto del fatto che vi prevale l'esposizione quasi estemporanea di intuizioni e concetti, o il semplice richiamo a idee forse più compiutamente elaborate in un ambito di discussione anche orale, piuttosto che la conduzione di una vera e propria dimostrazione. Il lettore si avvicinerà più proficuamente al testo, se valuterà l'insistente accento posto sulla categoria della 'relazione', del rapporto, invece di fermarsi sui 'limiti' o sulle 'carenze' (vd. la nota 65), oppure sugli sviluppi teorici che l'argomentazione avrebbe potuto avere (vd. Gohlke 1957, p. 138, n. 7).

[71] A partire da Leonico Tomeo, alcuni traduttori e commentatori chiudono tra parentesi quadre questo periodo considerandolo superfluo. Vd. per es. Monantheuil, p. 33: «Hanc particulam parenthesi sic [ ] intercludendam curavimus, quod eam supervacuam esse cum Leonico existimemus»; così anche più avanti (p. 34 s.), considera un'inutile ripetizione le linee 849 a 3 εἰ μὲν οὖν – 6 ΒΕΓ. In realtà la costante ripresa di quanto detto rientra in uno stilema molto comune nei trattati cosiddetti minori del *C. A.*, dove tra l'altro la dimostrazione si riduce spesso a una conferma.

La particella γάρ (l. 32) oscilla tra un valore esplicativo (peraltro debole per quello che si è appena detto) e confermativo, e un valore avversativo: 'Se invece …'.

Nelle edizioni di Cappelle e di Apelt si legge χρόνον invece di λόγον, e λόγῳ invece di χρόνῳ (l. 32; la tradizione manoscritta è oscillante in entrambi i casi, vd. Bottecchia 1982, p. 41); una confusione

si nota nell'edizione di Hett che lascia λόγον, e scrive λόγῳ invece di χρόνῳ, ma traduce: «in a fixed ratio for a given time».

[72] Così sembra doversi intendere il significato di περιφερές. Leonico Tomeo e Monantheuil traducono: «circulare». L'interpretazione di Cappelle è quella seguita dai traduttori moderni: «curvum evadit (id est curvam lineam describit)».

[73] Alcuni editori e commentatori hanno sospettato che il luogo sia corrotto. Sylburg afferma: «sunt qui malint ἡ φερομένη κατὰ τὴν περιφέρειαν: vel, μὴ φερομένη : quod radius non feratur recte; quia numquam esset perpendicularis diametro» (p. 300, *ad loc.*). Cappelle definisce il luogo oscuro e forse corrotto; nessuno degli emendamenti proposti gli sembra risolutivo di ogni difficoltà (p. 158). Apelt, nell'apparato critico della sua edizione, ricorda gli stessi emendamenti, ma precisa che il luogo resta non sanato. Forster propone di espungere κατ' εὐθεῖαν; vd. anche Heath 1998, p. 231. Il passo può avere un senso, se ci si riferisce a un movimento tangenziale; vd. Hett p. 340, *ad loc.*; Bottecchia 2000, p. 148 s.

[74] Vd. Euclide, *Elementi* I def. 10: «[...] la retta che sta su è chiamata perpendicolare – κάθετος – a quella su cui sta»; per gli usi del termine *kathetos*, vd. Mugler 1958, p. 235 s.: «Adj., le plus souvent substantivé, exprimant qu'une droite fait des angles droits avec une autre droite».

Il testo è molto sintetico; Leonico Tomeo traduce: «ut sit rursus ipsa a centro perpendiculum». Si può intendere: 'dal centro', o 'sul centro' (vd. Mugler 1958, p. 72, s. v. ἀπό); la perpendicolare al raggio, nel punto di tangenza, forma con esso un angolo retto. Illustrativa può essere la Fig. 4 a (cfr. Fig. 4 b, tratta da Guevara, p. 47) proposta da Heath, che così interpreta: «The idea seems to be that the extremity *B* of the radius *OB* [...] would, if it had a simple motion in the direction of the tangent at *B*, reach *D*, a point on the tangent parallel to *OB* and therefore perpendicular to the original direction of its motion. But in fact *B* will arrive at *C*, the extremity of the radius perpendicular to *OB*, in consequence of a second motion being always combined with the first (along *BD*), a second motion which has 'never for any time whatever a definite ratio to the other'» (1998, p. 231 s.).

Hett nella nota *al loc.* interpreta così la composizione dei moti, rettilineo e circolare: «In modern terms we should describe the movement along the circumference as a balance of centripetal and centrifugal forces». Discutibile sembra l'accenno alle forze, basato sulla moderna dinamica dei moti circolari, come d'altra parte premette lo stesso Hett (vd. anche Micheli 1995, p. 65). Un rapporto tra la *Meccanica* e la trattazione moderna della forza centripeta da parte di Newton è peraltro sostenuto da Poselger (1829, p. 68 s.).

La scomposizione del movimento circolare nella *Meccanica* è sembrata a De Gandt molto nuova e unica nell'antichità: essa appare contraria alla tesi aristotelica secondo cui il movimento circolare è semplice. Ritenendo riduttivo il collegamento che Krafft propone con la *Fisica* (VII 2, 244 a 1: «la rotazione è formata da trazione e spinta»), conclude: «Aristote se contente de dire que pour faire tourner une roue, il n'y a qu'à la pousser par un côté et tirer les parties diamétralement opposées, alors que les *Quest. Méc.* décomposent chaque arc de cercle en un élément normal et un élément tangentiel» (vd. Fig. 4 c). Ogni commentatore della *Meccanica*, che sia un matematico, o un fisico, un filosofo, uno storico della scienza, o un filologo, può senz'altro condividere ciò che De Gandt aggiunge subito dopo riguardo alla ricchezza delle problematiche di questo trattato, indipendentemente dalla sua origine: «Il y a là en tous cas une mine de travaux à faire» (1982, p. 126). L'approfondimento auspicato richiederebbe lo sforzo congiunto di studiosi di varia formazione.

[75] Ci si riferisce a un punto che, sulla circonferenza, è allo stesso tempo all'estremità del raggio (cfr. l. 12) e 'in alto', cioè sopra il centro. Krafft interpreta: «der obere Scheitelpunkt» (1970, p. 25).

[76] Leonico Tomeo traduce: «extremum autem, ubi est *b*, feratur ad ipsum *d*».

[77] Vd. Fig. 4.

[78] Da una esposizione puramente geometrica si passa molto probabilmente a considerazioni che presuppongono il movimento di corpi e una forza che agisce su di essi; ma questa forza rimane indeterminata. Krafft (1970, p. 36) definisce ἰσχύς una grandezza astratta pensata matematicamente (geometricamente).

[79] Il verbo ἐκκρούειν (cfr. l. 9; 851 a 10) indica propriamente 'scuotere'; qui è usato nell'accezione di 'respingere' relativamente al movimento, connotando nella diatesi passiva l'idea del 'subire rallentamenti o interferenze', dell'essere ostacolato, frenato o deviato. È interessante notare che nel *C. A.* esso è spesso usato insieme con i sostantivi *kinesis* e *phora*, e ricorre in contesti in cui si esprime il concetto, valido in molti e differenziati ambiti, secondo cui 'il più grande/ forte' prevale sul 'più piccolo/ debole', vd. per es. *Percezione e percepibili* 7, 447 a 14 s. (ἡ μείζων κίνησις τὴν ἐλάττω ἐκκρούει) e 21 s.; *Riproduzione degli animali* V 1, 780 a 8 s. (ἐκκρούει ... ἡ ἰσχυροτέρα κίνησις τὴν ἀσθενεστέραν); *Retorica* III 17, 1418 a 13 s.; *Fisica* VIII 8, 264 a 10; *Meteorologia* I 4, 342 a 1; IV 3, 381 a 16; *Sogni* 3, 460 b 32; *Premonizione nel sonno* 2, 464 b 5; *Etica Nicomachea* III 15, 1119 b 10; VII 15, 1154 a 27; X 5, 1175 b 8; *Problemi* XI 29, 902 b 14 s.; XVI 4, 913 b 19; XVIII 1, 916 b 8; 7, 917 a 24; XXII 12, 931 a 18.

[80] Si tratta di una formula tipica di molte trattazioni filosofiche e

scientifiche antiche: si può accettare ciò che si conforma a un ragionamento corretto, indipendentemente da altre considerazioni e sperimentazioni che dovrebbero, secondo il nostro punto di vista, convalidare e confermare quel ragionamento. Qui, la riflessione tratta dal senso comune, verosimilmente indotta dal riferimento a qualcosa di concreto, serve a spiegare ciò che accade nel caso di entità geometriche. Subito dopo si torna infatti alla figura del cerchio.

[81] Nel commento a questo passo (l. 11 ss.), Cappelle afferma: «Ponit Aristoteles eam esse centro circuli vim insitam, ut omnia radiorum puncta velut ad se trahat, vehementissime vero proxima. Sed non exponit, undenam originem ducere censeat hanc vim. Subindicare tamen videtur eam quasi *quietis vim* esse» (p. 158). Il riferimento, che egli propone, alla *Fisica* VIII 9, 265 b 13 s. riguarda in realtà il movimento rettilineo («più le cose sono lontane dallo stato di quiete, più cresce la velocità del loro movimento»). Cappelle introduce spesso, nella traduzione, il termine *vis* quando il testo parla invece semplicemente di movimento (*phora*), interpretando certo arbitrariamente, ma non del tutto erroneamente dato che il movimento presuppone una forza, un agente che lo determina (cfr. le osservazioni di Micheli, ricordate nella nota 54). In questo caso il riferimento al concetto di forza è giustificato dalla linea 7; d'altra parte all'autore non sembrano interessare né l'origine di questa forza né la sua collocazione: è solo importante, ai fini della dimostrazione nelle diverse questioni esaminate, che sia della stessa intensità.

[82] Il verbo ἀντισπᾶν (cfr. l. 30; 857 a 8) 'tirare in senso contrario', 'trattenere', ricorre, nel *C. A.*, in particolare nei *Problemi* (III 15, 873 a 20; V 39, 885 a 10 s. – ἀντισπᾶν εἰς τοὐναντίον; XX 32, 926 b 12; XXI 20, 929 a 39).

[83] È preferibile, per il senso, interpungere con Forster dopo ἐπὶ τὸ μέσον, non prima.

[84] In questo difficile passo è intercorsa un'evidente confusione nella tradizione. Bekker dà il testo della maggioranza dei manoscritti (καὶ φέρεται τὴν μὲν κατὰ φύσιν κατὰ τὴν περιφέρειαν, τὴν δὲ παρὰ φύσιν εἰς τὸ πλάγιον καὶ τὸ κέντρον); Bottecchia invece accoglie la lezione del codice Barb. gr. 22 (V^3): καὶ φέρεται τὴν μὲν κατὰ φύσιν τὴν δὲ παρὰ φύσιν κατὰ τὴν περιφέρειαν εἰς τὸ πλάγιον καὶ τὸ κέντρον. Lo stesso significato si ha con l'emendamento, sintatticamente più lineare, proposto da Cappelle e seguito da Apelt: καὶ φέρεται κατὰ τὴν περιφέρειαν, τὴν μὲν κατὰ φύσιν εἰς τὸ πλάγιον, τὴν δὲ παρὰ φύσιν εἰς τὸ κέντρον.

Sono implicati in questo passo il concetto di moto circolare come risultante di due movimenti, e la contrapposizione tra movimento *kata physin* e *para physin*, delineata fin dall'inizio. 'Secondo natura' è il movimento 'laterale', in direzione della tangente; 'contro natura'

quello verso il centro, vd. Bottecchia 1982, p. 92 ss.; 2000, p. 151; cfr. Krafft 1970, p. 26; Heath 1998, p. 232: «it (i.e. its extremity) is carried along the circumference, its natural translation being laterally (i.e. along the tangent) and its unnatural (i.e. constrained) translation being towards the centre». Vilain nota, a proposito della traduzione di Forster: «the term for 'tangent' [...] must not be taken in the geometric meaning of the word, but in a qualitative sense, as a movement that is lateral, sideways, along the circle» (2008, p. 152, n. 13). In seguito chiama questo movimento «'lateral' or 'sideways' [...] because it escapes from the line of the circumference», facendo anche riferimento a Cappelle che traduce εἰς τὸ πλάγιον «in obliquum».

Micheli, che segue il testo di Bekker, traduce: «Ad ogni linea che descrive il cerchio accade questo, si sposta secondo natura lungo la circonferenza, contro natura lateralmente e verso il centro» (1995, p. 57); e specifica: «ad ogni linea che descrive il cerchio accade questo, si sposta secondo natura lungo la circonferenza (moto in cui agisce ῥοπή costretta lungo un percorso prefissato), e contro natura lateralmente (moto contro natura generato da ἰσχύς) e verso il centro (azione costrittoria del centro sul moto lungo la circonferenza)» (*ibid.*, p. 65; cfr. p. 71 ss.). La sua articolata discussione sul principio della composizione dei moti, in Aristotele e nei suoi commentatori, e sul suo sviluppo in questo trattato, costituisce un utile approfondimento delle problematiche legate a questo passo, molto discusso e diversamente spiegato (1995, pp. 58-65).

Il soggetto del verbo *pheretai* (l. 15) è sì il raggio ('la linea che descrive il cerchio'), ma in particolare la sua estremità (cfr. ll. 2 e 12) verso la circonferenza: si pensa cioè essenzialmente a un punto che potrebbe avere le due direzioni indicate.

[85] È preferibile questa lezione invece di quella accolta da Bekker ΒΓΔΕ ; vd. Fig. 5.

Con questa dimostrazione geometrica si dà una valutazione quantitativa ('maggiore/ minore/ uguale') dei movimenti e dei loro rapporti. Essa è stata messa in relazione con la dimostrazione euclidea che si propone di trovare, date due rette, una media proporzionale tra di esse (*Elementi* VI 13: Δύο δοθεισῶν εὐθειῶν μέσην ἀνάλογον προσευρεῖν; cfr. 16: «Qualora siano quattro rette in proporzione, il rettangolo compreso dagli estremi è uguale al rettangolo compreso dai medi; e qualora il rettangolo compreso dagli estremi sia uguale al rettangolo compreso dai medi, le quattro rette saranno in proporzione»).

[86] L'uso del verbo *ballein*, con vari preverbi, è molto frequente negli scritti di geometria. In particolare, il verbo *ekballein* è uno dei termini tecnici più antichi (vd. Mugler 1958, p. 166 s.): esso può significare sia 'tirare', 'condurre' (cfr. *agein* e *diagein*), 'tracciare' una

linea; sia 'prolungare' una linea già tracciata. Cfr. Aristotele, *Cielo* I 5, 271 b 29; *Meteorologia* III 5, 375 b 31; 376 a 1; *Linee indivisibili* 971 b 5 s.

[87] Vd. le note 59 e 69, per l'uso di ἑτερόμηκες e del verbo πληροῦν.

[88] Si accoglie la lezione AB invece di AE.

[89] Il termine ἔκκρουσις (vd. la nota 79) è un *hapax* nel *C. A*. Nelle traduzioni latine, esso è reso con *repulsio* (Leonico Tomeo, Monantheuil) oppure *cohibitio* (Cappelle); Bussemaker traduce tutta la proposizione: «quia magis a via deflectitur atque retrahitur». Guarino: «per causa d'esser più respinta la α χ & havere maggiore impedimento»; Forster e Hett traducono «interference»; Heath (1998, p. 233): «forcible diversion»; Gohlke e Krafft «Ablenkung»; Micheli (1995, p. 66) traduce «respingimento»; Bottecchia «deviazione». Il vocabolario di Franco Montanari (2004) dà, per questo luogo, il valore: «moto di reazione». Propriamente, questo termine indica «*the act* or *process of forcing* a thing *from its position*» (LSJ, Rev. Suppl. 1996). AX è più vicino al centro; subisce pertanto, per quello che è stato detto, un rallentamento, un'attrazione e una resistenza maggiore, un'influenza perturbatrice più forte, un 'trattenimento', come sottolinea e conferma l'uso, subito dopo, del verbo *antispan*; cfr. anche la linea 18 s.

[90] L'uso del verbo ἄγειν, 'condurre' una linea, può essere confrontato con quello del verbo ἐκβάλλειν (l. 23; vd. la nota 86). Cfr. Euclide, *Elementi* I 12.

[91] Si tratta ovviamente del raggio del cerchio più grande.

[92] Si accoglie la lezione κάθετος (l. 34) invece di κάθετον. Cfr. Euclide, *Elementi* I 31.

[93] Πρὸς ὀρθὰς (γωνίας) 'ad angolo retto': per esprimere il concetto di 'perpendicolare' nella *Meccanica* ricorre comunemente il termine *kathetos*. Krafft sostiene, in polemica con Heiberg (1904, p. 30 s.: questo teorema, e altri relativi al cerchio, non sono collegati ad altre trattazioni matematiche), che il passo contenga un patrimonio dottrinale più antico (le linee 849 a 35 αἱ γὰρ ἴσαι – 38 κύκλοις sarebbero «eine Aussage über die Segmenthöhe zwischen Bogen und Sehne in Kreisen mit verschiedenen Durchmessern, über die 'Pfeil'-Höhe, wie sie früher und später gennant wurde»). La presenza di πρὸς ὀρθάς qui sarebbe la prova di una diversa provenienza del materiale, dato che nella *Meccanica* si usa il termine *kathetos* per esprimere il concetto di 'perpendicolare'; inoltre ciò che in questo passo si afferma viene presupposto come noto e non dimostrato (1970, p. 90).

Heath (1998, p. 233) propone un confronto con Euclide, *Elementi* III 31 e VI 8.

Per l'uso di questo nesso preposizionale nel *C. A.*, vd. *Cielo* I 5, 272 b 25 s.; *Meteorologia* II 6, 363 b 2; III 3, 373 a 14; *Problemi* X 54, 897 a 16 (πρὸς ὀρθῇ); b 4; XVI 4, 913 b 9; cfr. *Cosmo* 4, 396 a 2 s. (κατ' ὀρθὰς γωνίας).

[94] Alcuni editori accolgono la lezione ἠνέχθη; si potrebbe forse leggere ἐνήνεκται, come nella l. seguente, cfr. *Fisica* VI 2, 233 b 28; b 22; *Cielo* II 8, 289 b 12.

[95] Bottecchia (2000, p. 68) scrive AB.

[96] Osserva Micheli: «Se la dimostrazione geometrica si intende agevolmente, non altrettanto agevolmente si intende il significato generale che essa ha all'interno della teoria elaborata dall'autore delle *Questioni meccaniche*. La difficoltà è ancora connessa al rapporto tra movimento secondo natura e contro natura. Gli autori rinascimentali, in genere, ponevano la questione in relazione al quadrante inferiore del cerchio e consideravano movimento secondo natura quello lungo la circonferenza e movimento contro natura quello verso il centro. Si pensava evidentemente al moto circolare celeste, però questo era considerato semplice, ed era inoltre un problema la presenza del moto contro natura» (1995, p. 68). Vilain osserva che l'interpretazione dipende in parte anche dall'orientamento dei diagrammi (2008, p. 153 s.).

Sia nei trattati rinascimentali sia nei commenti moderni sono infatti proposte diverse valutazioni del movimento, riferendo la dimostrazione al quadrante superiore o al quadrante inferiore, oppure facendo ruotare di 90° il quadrante superiore (vd. Krafft 1970, p. 33: Fig. 5 a; Micheli 1995, p. 68 ss.). Piccolomini (p. XIII r.) prende in considerazione i due quadranti; Guevara, riferendosi al quadrante inferiore, identifica il moto naturale con il movimento del raggio verso il basso: «progressus perpendicularis versus C R erit motus naturalis, versus autem C D erit praeternaturalis» (p. 51, vd. Fig. 5 b).

Heath considera il lungo passo (848 b 26-849 b 19, definito «rambling and ill arranged, with much repetition») un interessante tentativo di spiegare il movimento libero di un corpo in un cerchio come la risultante di due movimenti semplici, uno diretto lungo la tangente in un punto particolare, l'altro lungo il raggio da quel punto al centro (p. 233 s.). Micheli propone invece, come si è visto, una diversa spiegazione. Le difficoltà interpretative, e le soluzioni spesso contrastanti avanzate dai commentatori, derivano dal fatto che il testo è molto sintetico: l'autore non lascia intendere se nel dare una qualificazione ai movimenti egli tenga presente la costruzione del cerchio, la dinamica di una bilancia o il movimento di un corpo.

[97] Una definizione del concetto di τὸ ἀνάλογον è data da Aristotele nella *Poetica* 21, 1457 b 16-18: «Per analogia dico quando sono in uguale rapporto il secondo elemento con il primo e il quarto con il

terzo». Il concetto ricorre in molti e diversi ambiti argomentativi, vd. per es. *Analitici secondi* I 5, 74 a 18 ss.; *Retorica* III 7, 1408 a 10 s. («Lo stile possiederà proprietà – τὸ πρέπον – quando sia in grado di esprimere emozioni e caratteri e sia proporzionato al soggetto»); III 10, 1411 a 1 s. (cfr. *Poetica* 21, 1457 b 6-9). Frequente è il ricorso a questo concetto nel definire le parti degli animali; vd. per es. *Ricerche s. an*. I 3, 489 a 14 s.; *Parti d. an*. I 5, 645 b 6-10: «per 'analogo' intendo che per esempio alcuni animali hanno un polmone, altri non hanno il polmone ma un altro organo che sostituisce la funzione svolta dal polmone negli animali che lo possiedono; ancora, alcuni hanno il sangue, altri qualche cosa di analogo che possiede le stesse proprietà del sangue negli animali sanguigni». Qui il confronto più diretto è con passi in cui ricorrono espressioni quali *analogon kineisthai*, *analogon symbainein*, *analogon gignesthai*, vd. per es. *Cielo* I 6, 274 a 5 s.; *Retorica* II 23, 1399 a 33; *Meteorologia* I 11, 347 b 14 s.; *Problemi* VII 5, 886 b 35 s. Il rapporto e la proporzione tra grandezze sono accuratamente definiti negli *Elementi* di Euclide, vd. le definizioni all'inizio del V (cfr. VI def. 1-5).

[98] Cioè B (vd. l. 2 s.).

[99] Cfr. 849 a 38-849 b 1.

[100] Alcuni editori accolgono la lezione τῷ.

[101] Il testo è qui controverso, ma il senso è chiaro. Cappelle (vd. anche il testo dato da Monantheuil, p. 43) legge μεῖζον, anche sulla base dello scolio nel Par. A, invece di seguire la lezione vulgata μᾶλλον. Così leggono anche Forster (1913) e Krafft (1970, p. 27). Apelt segue il testo tràdito, ma in apparato suggerisce che forse si dovrebbe scrivere ἀνάλογον 'in un rapporto proporzionale'. È questo d'altra parte il senso: si parla di una grandezza 'proporzionalmente maggiore' del movimento non naturale nel cerchio maggiore, rispetto a quello non naturale del cerchio minore, come si vede bene dal rapporto stabilito più avanti (l. 15, cfr. l. 18).

Per l'uso dell'avverbio ἐνταῦθα (l. 11), vd. ll. 8 e 12.

Si può intendere il verbo συμπίπτειν nel senso di συμβαίνειν, come in altri luoghi aristotelici: 'accadrà altrettanto per il movimento non naturale'; oppure: 'anche il movimento non naturale vi corrisponderà (conciderà)', 'ci sarà la stessa corrispondenza'. Il verbo è utilizzato da Aristotele anche in senso tecnico con il significato di 'convergere', 'incontrarsi' di linee, vd. per es. *Analitici secondi* I 12, 77 b 22 s.; *Ricerche s. an*. I 16, 495 a 14 s. Cfr. Platone, *Simposio* 184 e; Euclide, *Elementi* I def. 23.

[102] Alcune traduzioni latine rendono la congiunzione ὥστε con una consecutiva (*ita ut* …, vd. Leonico Tomeo, Monantheuil, Bussemaker); la congiunzione ὥστε si avvicina qui al senso di ἐφ' ᾧτε, 'a condizione che', cioè 'solo se si è verificato che', 'purché', 'nel solo

modo tale che'. Per l'uso di ὥστε in Aristotele, vd. Bonitz 1961, p. 873 a 31 ss.; Id. 1969, p. 202 ss.

[103] Qui si ha molta incertezza nella tradizione. La maggior parte degli editori moderni segue l'emendamento di Cappelle: ἐν ᾧ τὸ ἐφ' οὗ Χ σημεῖον τὴν ΧΘ.

[104] L'argomentazione, con cui si dà una 'misura geometrica' del movimento, sembra unicamente rivolta a ciò che visivamente appare nella dimostrazione geometrica, lasciando sullo sfondo la qualificazione dei movimenti 'secondo natura', 'contro natura', e schemi prefissati in questo senso. È ragionevole pensare che in questo contesto l'opposizione non possa avere tutto il valore epistemologico che ha altrove in Aristotele, quando diventa indicativa anche di altre qualità collegate. Qui in fondo si segue la formazione del cerchio, e in relazione a questa figura si considerano, volta per volta, le diverse possibili direzioni di un punto.

[105] Nelle linee 13 τῷ Β – 14 ΚΒ si ha oscillazione nei manoscritti, anche nell'ordine delle parole. Considerando il senso e il ricostruibile errore paleografico, accolgo l'emendamento di Bottecchia: ΚΗ al posto della lezione κέντρον (vd. Bottecchia 1982, p. 111); ci può essere stata una confusione con la tachigrafia di κέντρον. Apelt (seguendo Cappelle) dà questo testo: τὸ Β σημεῖον ἐς τὸ Η· παρὰ φύσιν δὲ ἐς τὸ Κ. ἔστι γὰρ ἡ ΗΚ ἀπὸ τοῦ Η κάθετος.

[106] I triangoli ΒΚΗ e ΧΖΘ sono simili. Cfr. Euclide, *Elementi* VI 4.

[107] Si può anche intendere ἀνάλογον in senso avverbiale, cfr. per es. Aristotele, *Cielo* I 7, 275 a 9.

[108] 'Di quello più vicino al centro'; cfr. 849 a 9-14.

[109] Essenziale, per tutto il ragionamento, è questa condizione su cui si insiste, cioè che la forza sia la stessa.

In questo trattato, come in altri del *C. A.*, la parte più argomentativa è contenuta all'inizio; vd. in particolare la *Fisiognomica*. La dimostrazione (849 a 21-b 19) è stata ampiamente e preliminarmente condotta per dare una risposta al quesito già posto sulle bilance. Guevara mette in evidenza il fatto che la bilancia viene giustamente trattata per prima «inter mechanica instrumenta», perché «immediatius, ac magis» partecipa della natura del cerchio, nei suoi movimenti (p. 55).

[110] Si riprende la precedente domanda (848 b 2 s.).

Osserva Micheli: «Questo luogo ha suscitato molti commenti per il carattere paradossale che riveste l'asserzione che le bilance maggiori sono più esatte delle minori, quando a tutti è noto che le bilance di precisione sono piccole» (1995, p. 76). Bisogna in ogni caso tener conto del fatto che in questo contesto, l'accento è posto sull'ampiezza del movimento e sulla possibilità di apprezzarla meglio visivamen-

te se il braccio è più lungo (vd. la nota 117). Il problema ha appassionato i commentatori rinascimentali. Baldi si chiede chi potrebbe affermare che le grandi bilance usate da *Apothecarij* e da *Macellarij* siano più precise di quelle piccole che usano *Gemmarij* e *Argentarij*, ma subito dopo afferma: «Veruntamen, ita prorsus res habet, ut asserit Aristoteles» (p. 15); propone anche una propria dimostrazione disegnando un astrolabio: «Astronomica instrumenta, puta Astrolabia, Armillae, & alia eiusmodi, quo ampliora eo exquisitiora, & certiora probantur» (p. 16). Vd. anche Tartaglia (ed. 1959, p. 79); Piccolomini (pp. XIX v.- XX v.); Maurolico (p. 11).

Cappelle si dilunga in una articolata e minuziosa dimostrazione (consapevole dell'eccessiva lunghezza, alla fine chiede scusa al lettore: «Ignoscat Lector, si forte in hoc probando nimis diu moratus sim», p. 174); dapprima nota che l'affermazione aristotelica è troppo generale: vera per la stadera, ma non sempre vera per la bilancia «in qua, sive longum sit jugum, sive breve, hinc merces pendendae, illinc pondus aeque semper a sparto distant, unde et, pariter si prolongetur jugum, et hinc et illinc momentum augebitur» (p. 169). Tenta in ogni caso di esaminare la questione più accuratamente, per vedere in che senso ciò che dice Aristotele possa essere vero anche per la bilancia, prendendo in considerazione «jugum aliquod mathematicum, seu ponderis expers, quod aequilibrare faciant pondera P, P in utrumque ipsius extremum agentia» (p. 170). Conclude che nei gioghi più lunghi si percepiscono molto meglio le inclinazioni, anche minime «quia extremum longioris jugi majorem arcum percurrit [...] Illud autem, quamvis bene observatum fuit ab Aristotele, nihil facit ad majorem minoremve bilancium probitatem» (p. 174).

Il termine ζυγόν indica propriamente una parte della bilancia, cioè il 'giogo', e per estensione tutta la bilancia. Tra i 'precetti e simboli' pitagorici, le fonti ricordano: «non passare sopra il giogo della bilancia» (ζυγὸν μὴ ὑπερβαίνειν), cioè non prevaricare (vd. 58 C 6, I p. 465, 25 s. D.-K.). Indimenticabile, nei *Caratteri* (9) di Teofrasto, lo schizzo dello sfacciato: sta ben dritto presso la bilancia e, dopo che la merce è stata pesata, porta via qualche altra cosa.

[111] Il termine σπάρτον (o σπαρτίον, vd. 850 a 3; 852 a 20; *Problemi* VIII 9, 888 a 21) indica propriamente la 'corda', la 'fune'; qui e poco più avanti (ll. 26, 35) si può intendere la corda cui è sospesa o appesa la bilancia (cfr. Polluce, *Onomastico* X 108). In altri passi di questo trattato, sarà invece opportuno rendere in modo diverso ('asse', 'sostegno', 'punto di sospensione'); in ogni caso la 'corda' è geometricamente assunta come linea o come punto.

Monantheuil traduce «agina», distinguendo il punto C (vd. Fig. 6), il centro della bilancia, dalla «trutina, seu ansa» (C D), detta anche da alcuni «aequamentum» (pp. 44-46). Piccolomini così descrive

la bilancia: «La libra parimenti detta bilancia è un certo istrumento di ferro, o di rame, o di legno, assai lungo, nel cui mezo è un foro dentro al quale è collocata una certa linguetta o stile, che esce fuori da quella parte alla quale inchina il peso; il quale stile i Latini chiamano examen, e noi lo chiameremo indice, o ago che così lo chiaman' i volgari. Quel foro, o apertura i Greci chiamano πάρτον [sic], e noi trutina» (trad. di Biringucci, p. 35; cfr. Biancani, p. 154: «centrum [...] est spartum, siue trutina; hoc enim punctum in motu librae manet»). L'immagine dell'ago della bilancia è richiamata spesso nei commenti latini, a cominciare da Leonico Tomeo (f. XXX v.). Molto articolata è la descrizione di Guevara, accompagnata da una serie di illustrazioni (pp. 55 s. e 73 ss.). Baldi interpreta *fulcimentum* (p. 15).

Cappelle osserva opportunamente che il termine σπάρτον, in senso proprio «*funis* seu *linum*, ex quo bilancis jugum dependet», finì per essere detto «*pro omni eo*, *quod bilancem sustinet*» (p. 166 s.). Giustifica poi così la sua traduzione con *spartum*: «Cum itaque Graecum σπάρτον a *funiculo* seu *lino* ita differat ut genus a forma, potius vocabulum *spartum* ubique etiam in Latina versione servandum duxi» (p. 167).

[112] Cfr. 849 a 12.

[113] Il termine πλάστιγξ indica propriamente il piatto della bilancia, e per estensione la bilancia; cfr. Platone, *Repubblica* VIII 550 e; *Timeo* 63 b. Nel *C. A.* πλάστιγξ ricorre solo in questo trattato.

Si noti la costante assimilazione del movimento della bilancia alla figura del cerchio: il suo movimento è circolare; così i due bracci della bilancia costituiscono i raggi, e l'intero giogo costituisce il diametro.

[114] L'espressione ἡ (αἱ) ἐκ τοῦ κέντρου (γραμμή/γραμμαί) 'la linea dal centro' indica come si è visto il raggio.

[115] Cfr. 849 a 12.

[116] Cfr. 849 a 7; b 19 s. Invece di riferirsi genericamente a una forza, come causa del movimento, si parla qui di peso (cfr. ll. 30 s. e 33): dall'argomentazione basata su un oggetto geometrico si è passati infatti a esaminare ciò che accade in un oggetto concreto di uso quotidiano, alla bilancia, anche se vista come una figura geometrica. Il parallelismo tra il movimento circolare e il movimento della bilancia stabilisce un altro stretto rapporto tra forza e peso (in fisica, il peso è una forza, e si parla di *forza peso*).

[117] I termini ricorrenti in queste linee rinviano all'ambito della visione: δῆλος (l. 27 s. e 31), φανερός (l. 30; da notare la diversa connotazione dello stesso termine nella l. 22), αἴσθησις (l. 27), ὄψις (l. 29; il termine, che ha molte valenze, può indicare qui sia l'atto del vedere, sia l'organo con cui si vede, gli occhi), ὁρατός (l. 30; cfr.

Aristotele, *Percezione e percepibili* 3, 440 a 27 s.). La maggiore precisione delle bilance grandi è valutata visivamente attraverso la maggiore ampiezza del movimento, o in base al movimento che si riesce a 'cogliere con gli occhi' (l. 29 s.).

[118] La presenza del termine μέγεθος, che le traduzioni latine rendono con *magnitudo* (cfr. l. 31), mette in rilievo il dato apprezzabile visivamente, lo spostamento angolare meglio colto dagli occhi, se il braccio è più lungo: si tratta di una grandezza spaziale, con cui si denota l'estensione di qualcosa, qui 'misurabile' con gli occhi. Nella *Metafisica*, come si è detto (vd. la nota 26), Aristotele precisa: «Una quantità è una pluralità se è numerabile; è invece una grandezza – μέγεθος – se è misurabile. Si chiama pluralità ciò che può dividersi in parti non continue; si chiama invece grandezza ciò che è divisibile in parti continue. Fra le grandezze, quella continua in un'unica dimensione è lunghezza; quella continua in due dimensioni è larghezza e quella continua in tre dimensioni è profondità» (Δ 13, 1020 a 8-12); cfr. *Problemi* XVI 7, 914 b 3-5; XVII 1, 916 a 8-10.

[119] Non a caso si fa questo esempio, considerando quanto fosse nota, costosa e apprezzata la porpora nell'antichità: la frode in questo caso era più che mai grave. Nel trattato sui *Colori* (4, 794 a 21; 5, 795 b 10-21; 797 a 5-8), la tintura col murice diventa un punto di riferimento per capire il processo di mescolanza e di formazione dei colori; sulle altre fonti antiche che ne parlano (Plinio, in particolare) e sui termini relativi alla 'porpora' nella poesia antica, vd. le mie note ai *Colori* (1999, pp. 197 ss.; 221 ss.; 234 s.; 2008, pp. 141 s., n. 100 s.; 135, n. 75; 398 ss.) e il mio saggio del 1999-2000.

Monantheuil si sofferma sul sostantivo ἁλουργοπῶλαι e sull'etimologia del primo termine del composto: «purpura est ἀπὸ τοῦ ἅλς καὶ ἔργον a maris opere. quia purpura e concha marina colligitur» (p. 47); cfr. Chantraine 1999, s.v. ἅλς e s.v. ἔργον.

Questo luogo testimonia, osserva Cappelle (p. 174 s.), che gli antichi potevano usare anche bilance di legno, invece che di metallo, per pesare merce preziosa come la porpora. Vd. anche Knorr 1982, p. 133.

[120] Anche il termine φάλαγξ (che ha molteplici significati e usi), come ζυγόν e πλάστιγξ, è usato in questo trattato per indicare sia una parte della bilancia (il braccio del giogo), sia 'la stadera' (vd. 853 b 25 e 29).

[121] Il trucco consiste nel rendere la bilancia non equilibrata. La questione sollevata dagli interpreti rinascimentali, se fosse maggiormente gravato il braccio più lungo o più corto, documenta il capillare lavoro interpretativo fatto su questo testo e gli sviluppi delle sue problematiche (vd. in particolare Cardano, *De subtilitate* 1, III p. 369 s. ed. Buck 1966; Monantheuil, p. 47; Biancani, p. 154; Guevara, p. 76 s.).

[122] È molto interessante notare che Teofrasto nel primo libro delle *Ricerche sulle piante*, che tratta della morfologia delle piante e comincia col definire le loro varie parti, osserva che le 'branche', i rami principali, sono detti da alcuni 'nodi' (I 1, 9; cfr. 8). I nodi si formano nei punti d'inserzione delle branche sul tronco; col termine ὄζος si può così, per sineddoche, indicare tutta la branca.

[123] Risulta a questo punto evidente il problema riguardo alla resa del termine σπάρτον (σπαρτίον): non si può parlare di una 'corda' che sta sotto. Esso viene utilizzato per estensione in riferimento a ogni tipo di 'sostegno' della bilancia (a l. 21 ricorre significativamente il nesso τὸ ὑποκείμενον). Dato il contesto, in cui è prevalente l'impostazione geometrica, si può intendere 'asse di sostegno' o 'punto di sospensione' (vd. il problema n. 20): l'autore mette in rilievo che si tratta di una perpendicolare (l. 7); d'altra parte sembra considerare il punto di sospensione, sopra o sotto, «as a mathematical point» (Heath 1998, p. 235), pur se non parla di un centro di gravità. In ogni caso, lo *sparton* è assimilato a un elemento geometrico; Leonico Tomeo così lo definisce: «spartum in libra punctum appellare videtur illud in quo libra suspenditur» (f. XXX v.).

Cappelle si sofferma su questi due tipi di bilance («Potest scilicet bilancis scapus vel e sparto aptus pendere, vel ei incumbere aut quasi insistere») ricordando le fonti antiche che li documentano (p. 175 s.). Sulle bilance antiche e le loro evidenze archeologiche, vd. Michon 1904; Knorr 1982, pp. 6 s.; 121 ss. Heath schematizza così i due modi di sospensione «(1) it is suspended by (say) a string from the middle point on the *top* side or (2) by means of a loop or a small ring with a pin through it» (1998, p. 234).

Come in altri trattati aristotelici, il suffisso di diminutivo (σπαρτίον) appare desemantizzato.

Cappelle (p. 24) propone l'integrazione <τις>; Apelt la accoglie nel testo, e in apparato esprime il dubbio se non sia da leggere ἀφεθῇ. Vd. la traduzione di Leonico Tomeo: «quando deorsum lato pondere quispiam id amovet».

[124] Il problema dell'equilibrio della bilancia è stato molto discusso, fin dall'antichità, vd. Knorr 1982, p. 75 ss. La soluzione offerta in questo problema è sostanzialmente accettata per tutto il Medioevo fino a Tartaglia (vd. *Quesiti* VII), come osserva Montebelli (vd. Gamba/ Montebelli 1988, p. 222), che si sofferma sia sull'opinione di Tartaglia («La risoluzione del primo problema è sostanzialmente corretta; invece quella data al secondo non è accettabile in quanto, come è noto, la bilancia non ritorna alla posizione iniziale né rimane inclinata, ma cade verso il basso capovolgendosi. Pure errata è la soluzione data al problema dell'equilibrio della bilancia con il centro di sospensione coincidente con il baricentro, che il Tartaglia presenta come

nuovo [...] ma che era già stato affrontato da Giordano e da Leonardo da Vinci», *ibid.* p. 225), sia su quella di Guidobaldo del Monte: «Chi diede ai tre problemi dell'equilibrio della bilancia [...] una soluzione esatta, nell'ambito di una trattazione rigorosamente geometrica e condotta utilizzando in modo determinante il concetto di centro di gravità, fu indubbiamente Guidobaldo dal Monte» (*ibid.*, p. 229).

Piccolomini dichiara di aver «veramente durata grandissima fatica a concordar il senso con le parole [. . .] Che vuol dire, che se nella libra la trutina è posta dalla parte di sopra, ponendo in una delle bilance alcun peso e poi levandolo, poco doppo la libra saglie di nuovo e per se stessa ritorna all'equilibrio? Ma se la trutina è affissa dalla parte di sotto, tolto via il peso che havrà già inchinata la bilancia, la libra non ascende anzi resta inchinata? Intendo al presente per trutina, non solo quel foro, che si chiama trutina propriamente, ma ancora quel manico dal quale pende & è sostenuta la libra» (trad. di Biringucci, p. 39). Vd. anche Cardano, *Opus novum de proportionibus*, Prop. 197, IV p. 576 s. ed. Buck 1966.

L'imbarazzo è stato di tutti i commentatori, divisi tra l'opportunità, quasi la necessità, di difendere l'affermazione aristotelica e di provarne il fondamento, anche con ulteriori dimostrazioni (Aristotele appare ancora come un'autorità: il suo testo, se oscuro e difficile, deve essere solo interpretato correttamente, e non può essere erroneo), e la decisa valutazione negativa riguardo al modo in cui è stata condotta l'argomentazione del secondo caso (vd. più avanti n. 132). Micheli riassume così il lunghissimo dibattito: «La trattazione della bilancia nella forma presentata nelle *Questioni meccaniche* ha costituito un classico problema della meccanica antica, ed è stato a lungo discusso da Keplero, Tartaglia, Guidobaldo del Monte e da altri. Alla luce della successiva dottrina dei centri di gravità, è stato rilevato che la trattazione della prima forma di bilancia è sostanzialmente corretta, mentre quella della seconda contiene un errore, in quanto la bilancia con lo sparto di sotto non rimane ferma quando viene tolto il peso, ma cade verso il basso» (1995, p. 78 s.).

[125] Ciò accade, quando si mette un peso o si esercita una forza che rompe l'equilibrio (vd. l. 11): «When the author speaks of putting a weight or *bias* (ῥοπή) on one end of a lever and taking it off again, he merely means using such small force as is necessary to depress that end of the lever» (Heath 1998, p. 235).

Da notare l'uso dei termini ῥοπή (ll. 13; 15; cfr. 847 a 22) e βάρος (ll. 4; 18; 25; 28 s.).

[126] Il verbo διαιρεῖν ha un uso tecnico in geometria, e indica l'operazione che consiste nel dividere una figura geometrica in due o più parti secondo certe proporzioni; spesso è sinonimo di τέμνειν (διατέμνειν).

[127] Vd. Fig. 7.

Bottecchia accoglie la lezione di alcuni codici: ὀρθὸν τὸ (cfr. l. 24). Per la bilancia, l'essere 'diritta' in questo caso significa essere in equilibrio, senza pendere né da una parte né dall'altra.

[128] Nell'edizione di Cappelle si legge τοῦ ἐφ' ᾧ (così anche in Bottecchia); Apelt accoglie la lezione τοῦ ἐφ' οὗ. In questo trattato si nota un'oscillazione tra l'uso del gentivo e del dativo con la preposizione ἐπί.

[129] **AM** si legge in Monantheuil, seguito dagli altri editori.

[130] Qui il testo è più controverso; sulla base del confronto con la l. 27 (τῷ ΘΚΛ), seguo la congettura di Apelt. Facile è invece, per il ben comprensibile errore paleografico, l'emendamento **ΘΠ** al posto della lezione **ΦΠ**.

[131] Vd. Fig. 8.

[132] Come si è anticipato nella nota 124, questa parte del problema è stata sottoposta a una articolata analisi e a ulteriori elaborazioni da parte dei commentatori. Nel valutarne l'argomentazione occorre in ogni caso tener presente anche la sua funzione di introduzione al problema della leva posto subito dopo: con la leva, è possibile spostare grandi pesi, nonostante essa abbia un peso che va ad aggiungersi al carico. L'opposizione leggero/ pesante diventa pertanto in questa parte una categoria argomentativa predominante: in essa si individua la causa della posizione della bilancia, e non in ciò che vi è effettivamente implicato, cioè la teoria del centro di gravità. Hett così commenta: «Aristotle is wrong in the details of his second case. If the beam is supported from below, it is in instable equilibrium, and therefore any weight placed on one arm would cause that arm to sink, until the beam fell off the pivot. The beam would only keep ist position if it were supported at its centre of gravity–viz. at I.» (p. 350, vd. Fig. 8 a).

I commentatori rinascimentali della *Meccanica* individuano le difficoltà del passo, proponendo anche argomentazioni e soluzione proprie; affrontano inoltre un terzo caso. Monantheuil (pp. 49-54), che tiene conto dello studio di Guidobaldo del Monte, si sofferma in modo particolare sul terzo caso (la bilancia con lo 'sparto' nel mezzo), non discusso nella *Meccanica*: «Et sic patet solutio tertiae partis huius problematis ab Aristotele praetermissae. Raro tamen huic demonstrationi licet verae, experientia respondet, propter instrumentorum materiam Physicam, in qua exacte medium constituere non datur in puncto geometrico, utcumque tamen alias respondet» (p. 54). Baldi (pp. 18-21), che è a conoscenza delle dimostrazioni di Guidobaldo del Monte, dichiara che il suo compito sarà quello di esporre con più chiarezza: «Haec Philosophi demonstratio est vera illa quidem, sed non ex Mechanicis principijs, hoc est, ex centri gravitatis

speculatione; nos igitur clarius rem exponemus» (p. 20; vd. anche Piccolomini, ff. XXI r.-XXIII r.; Benedetti, p. 154; Maurolico, p. 11 s.; Biancani, pp. 155-157; Guevara, pp. 77-85). Altrettanto documentato sulle questioni sollevate da questo problema, si dimostra Cappelle (pp. 178-181) che ricorda Cardano, Giordano, Guidobaldo, Kepler; non volendo addentrarsi nelle loro argomentazioni, mette invece in evidenza ciò che sembra sfuggito: «Nimirum haud satis animadverterunt Viri Docti, Aristotelem hic non loqui de *libra*, ita dicta, Mathematica, id est, *linea ponderis experte*, sed de *libra Physica, quae ex materia quadam continenti constat*» (p. 179). La sua conclusione è che Aristotele merita ogni lode per la sua acuta indagine, pur non conoscendo la dottrina del centro di gravità, ascritta ad Archimede.

[133] Si passa ora a valutare operativamente i principi enucleati nell'argomementazione sul cerchio.

In questo passo ricorrono i termini *dynamis* (850 a 30) e *ischys* (850 b 5) che noi avvertiamo quasi come sinonimi: come tali possono essere usati in alcuni contesti. In ogni caso, dal punto di vista aristotelico, *dynamis* è un termine pregnante e indica la 'capacità', la 'possibilità' che una cosa o un essere vivente possiede, la sua forza potenziale, la possibilità di essere o di agire, mentre *ischys* è la forza efficace che determina, in questo caso, un movimento; cfr. *Fisica* VII 5; *Moto d. an*. 3, 699 a 34; 4, 699 b 15-17; *Cielo* I 7, 275 b 18 ss. Generalmente il concetto di forza ha nell'antichità una stretta relazione con la categoria della qualità oltre che con quella della quantità.

[134] Questa è la considerazione che si può fare basandosi sull'esperienza e sul senso comune: con essa si giustifica la domanda e si pone un collegamento con le precedenti conclusioni.

[135] Leonico Tomeo traduce «libra exsistens, spartum inferne habens, in inaequalia divisa?», cfr. Sylburg p. 300, *ad loc.*; Cappelle p. 28. Nell'edizione di Bekker il participio è incluso tra parentesi quadre ad indicare, come in altre precedenti edizioni, un'integrazione, secondo una vecchia consuetudine.

[136] La risposta alla domanda che ci si è posti, e che scaturisce dall'osservazione di una divergenza tra ciò che ci si aspetterebbe e ciò che invece si constata, consiste nell'individuare una causa; nella 'macchina' non si coglie pertanto un comportamento 'contro natura' in assoluto, o un'alterazione delle leggi naturali.

Assimilando la leva a una bilancia del tipo prima considerato (ll. 5 e 20 ss.), si trovano le corrispondenze tra le 'parti' dell'una e dell'altra: potremmo parlare di *analogia* nella funzione e nella forma, pensando anche che l'autore possa ragionare tenendo conto di un modello biologico, come spesso in Aristotele (si pensi per esempio ai termini utilizzati nel parlare dell'origine e dello sviluppo della tragedia, e alla sua assimilazione a un organismo strutturalmente ordinato,

nella *Poetica*), e secondo una tendenza generale della cultura greca a considerare i diversi fenomeni in modo biologico. Qui il termine ἀνάλογον non ricorre; ἀντί (l. 35; cfr. 850 b 2) tuttavia veicola un significato confrontabile (cfr. *Parti d. an*. II 2, 648 a 1 s.; 16, 659 b 5 s.; III 6, 669 a 2 s.; 14, 674 b 21 s.; IV 10, 686 a 25-27).

[137] 'Delle linee che partono dal centro, quella più lunga si muove più velocemente della più corta, per effetto dello stesso peso'; il riferimento è al principio dei cerchi concentrici: un punto sul raggio del cerchio maggiore si muove più velocemente di un punto sul raggio del cerchio minore.

Come il movimento della bilancia è stato precedentemente ricondotto a quello del cerchio (immaginato in posizione verticale), così è anche per la leva.

Si noti il ripetuto riferimento a ciò che costituisce la condizione necessaria della correttezza del ragionamento (la forza che agisce deve essere la stessa), e come siano intercambiabili in questo caso i due concetti di *baros* e *ischys*, cfr. 850 b 5; *Cielo* IV 6, 313 b 16 e 19.

[138] Cfr. l. 35 s.

[139] Noi parleremmo rispettivamente di 'forza-peso' e di 'resistenza'.

[140] Traduzioni e interpretazioni divergono: molti commentatori vedono qui espressa la legge della leva, dell'inversa proporzionalità tra pesi e distanze. Questo è uno dei passi su cui si sofferma Duhem nel suo studio sulle origini della statica (vd. ed. 1991, p. 12; cfr. Drabkin 1938, p. 73). Heath (1998, p. 235) intende: «As the weight that is moved is to the moment, so reciprocally is (ἀντιπέπονθεν) the length to the length». Si assume che il peso mosso e quello che lo muove agiscano perpendicolarmente alla leva, e parallelamente tra loro. Heath precisa inoltre che ἀντιπέπονθεν vale normalmente in Euclide: «is reciprocally proportional»; e richiama l'attenzione sul rinnovato collegamento tra il principio della leva e il movimento dei raggi di cerchi concentrici. Krafft (1970, p. 40 s.) dà al verbo il valore tecnico («umgekehrte, reziproke, Verhältniss»), che esso assume più tardi in Euclide, e mette in evidenza che la spiegazione della legge della leva è di carattere 'dinamico'. Anche Bottecchia (2000, p. 160 s.) intende così il significato del verbo. Micheli (1995, pp. 79-86) invece è di parere diverso, e conclude che il passo è stato indebitamente letto alla luce delle acquisizioni di Archimede: «È sembrato quindi legittimo presumere che l'autore delle *Questioni meccaniche* avesse acquisito il concetto della legge della leva e avesse anticipato l'uso del termine [ἀντιπέπονθεν]. Ma la cosa non è così scontata [...] A me sembra improbabile che, dopo la lunga dimostrazione geometrica data, l'autore introduca una relazione matematica così significativa senza alcuna giustificazione e senza alcun rilievo, o che la assuma

come un mero dato empirico, introducendo così una palese anomalia entro la logica della sua argomentazione, o che la derivi come conseguenza da premesse implicite. Mi sembra invece più plausibile che l'autore intenda ribadire con tale parola solo il fatto che sussiste la contrarietà della proporzionalità tra distanza e peso, cioè la compresenza di contrari nel cerchio, affermata nel principio generale» (*ibid.*, p. 82 s.).

Il verbo ἀντιπάσχειν può avere un valore generico ('essere ricambiato', 'trovarsi in una condizione di contraccambio, di reciprocità'), oppure un valore più specifico in riferimento a una proporzione o diretta ('to be in the same proportion', 'essere nella stessa proporzione': è il significato che per questo luogo propongono LSJ e Franco Montanari; Micheli interpreta: «Poiché il raggio maggiore è mosso più celermente dallo stesso peso [...] si ha che i due pesi, evidentemente eguali, il movente e il mosso, stanno fra di loro, relativamente alla velocità, come le rispettive distanze dal fulcro. La dimostrazione è svolta richiamando solo il principio generale, cioè ribadendo la proporzionalità diretta tra velocità e distanza dei pesi eguali, una volta che quello più lontano dal fulcro è stato posto in movimento da una forza esterna», 1995, p. 84 s.), o inversa: 'essere inversamente proporzionale', vd. Mugler 1958, p. 66 s.: «Expression verbale désignant la propriété de deux figures d'avoir les éléments correspondants en proportion inverse». Mugler adduce esempi tratti da Euclide, da Archimede, da Apollonio, da Pappo, da Sereno, e conclude affermando: «l'expression est probablement antérieure à Euclide et s'opposait dans l'ancienne langue à une expression ταὐτὸν πάσχειν, ταὐτὸν πεπονθέναι = être proportionnel» (segue un riferimento a Platone, *Parmenide* 139 e). Euclide dà questa definizione: «Figure in relazione inversa – ἀντιπεπονθότα – sono quando in una e nell'altra delle figure vi siano sia rapporti antecedenti sia conseguenti» (*Elementi* VI def. 2; cfr. VI 14; 15); da osservare in ogni caso la costruzione del verbo in questo passo degli *Elementi*: «Le basi dei solidi parallelepipedi uguali sono in relazione inversa alle altezze – ἀντιπεπόνθασιν αἱ βάσεις τοῖς ὕψεσιν» (XI 34). Heiberg (1904, p. 32) fa notare infatti che in Euclide tutta la frase sarebbe formulata diversamente (ἀντιπέπονθε τὰ βάρη τοῖς μήκεσι).

In Aristotele prevale il senso generico della reciprocità: il participio sostantivato *to antipeponthos* ricorre in modo particolare nell'*Etica Nicomachea*, dove questo concetto viene discusso in relazione al concetto di giustizia, vd. per es. V 8, 1132 b 21; b 32 s. (τὸ ἀντιπεπονθὸς κατ' ἀναλογίαν; cfr. *Politica* II 2, 1261 a 30 s.). Zanatta opportunamente precisa nel commento *ad loc.*: «La reciprocità, che ad avviso dei Pitagorici e secondo altre sentenze definisce la giustizia *simpliciter*, entra a determinare il giusto non in sé e per sé, come pu-

ra restituzione di quanto si è ricevuto, bensì secondo proporzione» (2007, p. 554). Questo passo della *Meccanica* è il solo luogo indicato da Bonitz in cui *antipaschein* venga detto «de proportione geometrica» nel *C. A.* (1961, p. 65 a 53). Per comprenderne il valore, si deve tener conto anche del significato della preposizione *anti* in 850 a 35; cfr. 851 a 3.

Il modo di esprimere la categoria della relazione (cfr. 851 b 39 s.) appare qui molto semplificato rispetto allo schema e alla struttura della proporzione che Aristotele analizza (vd. per es. *Etica Nicomachea* V 6, 1131 b 5 s.: «come – ὡς – il termine A starà a – πρὸς – B, così – οὕτως – il termine C starà al – πρὸς – termine D»); esiste tuttavia una varietà nella sua formulazione (vd., nello stesso passo, ll. 6-8; 14 s.; *Metafisica* Θ 6, 1048 b 7 s.). Inoltre anche qui essa sembra comportare quattro termini (quattro termini sono richiesti sia nella proporzione detta da Aristotele 'discontinua' sia in quella detta 'continua', che utilizza un solo termine come se fossero due, per es. A sta a B come B sta a C; vd. *Etica Nicomachea* V 6, 1131 a 32 ss.): il peso mosso, il peso che muove, la distanza, dal centro, del peso mosso e la distanza, sempre dal centro, di quello che muove.

Un passo molto importante della *Fisica* di Aristotele, ritenuto già nell'antichità all'origine della scienza meccanica, e noto, come sembra, a Leonardo da Vinci e a Galileo (vd. De Gandt 1982, p. 99), mette in relazione di proporzionalità questi quattro termini: il 'motore', la forza A (τὸ κινοῦν), il 'mosso' B (τὸ κινούμενον), lo spazio Γ (μῆκος), il tempo Δ (χρόνος) (VII 5, 249 b 30-250 a 1). Non si può dire con sicurezza se ci sia un rapporto diretto tra gli assunti di proporzionalità espressi nel passo VII 5 della *Fisica* (vd. anche IV 8, 215 a 31-b 11; *Cielo* III 2, 301 b 4-14) e la *Meccanica*; certamente in entrambi i testi, le proporzionalità stabilite non servono a 'misurare' effettivamente il movimento: nel caso della *Fisica* le regole di proporzionalità (De Gandt efficacemente parla di una «proportionnalité de principe», 1982, p. 110) si inseriscono nell'ambito di una dimostrazione del carattere unitario del movimento; nella *Meccanica* il rapporto conferma i principi posti. Inoltre nella *Meccanica* la proporzione non viene esplicitata: ciò che segue ne sviluppa solo una parte, cioè il rapporto tra la distanza della forza-motore dal fulcro e lo spostamento che ne consegue, mentre non ci si sofferma sulla distanza del peso da muovere, dal fulcro. Nel valutare l'argomentazione bisogna anche tener presente che Aristotele pensa a una leva cosiddetta di primo genere o tipo (così precisa opportunamente già Biancani, p. 158), e che l'accento è in ogni caso posto sul movimento e sulla capacità di spostamento, e non sulla staticità, sull'equilibrio della leva (cfr. Vitruvio, *Architettura* X 3, 3), sul metodo dimostrativo più che sulle formule da applicare a dei casi particolari per arrivare a misure effettive.

Secondo Duhem, l'assioma che nella *Meccanica* risolve i diversi problemi è la legge fondamentale che Aristotele assegna al movimento locale e che domina, in modo esplicito o implicito, tutto ciò che ha scritto su questo movimento. Duhem osserva che le nozioni di peso e di massa erano allora indistinte; una stessa forza può muovere un corpo pesante e un corpo leggero, ma con diversi effetti sulla velocità: le velocità dei movimenti impressi a quei due corpi saranno inversamente proporzionali ai loro pesi (vd. ed. 1991, p. 11). De Gandt contesta il punto di vista di Duhem su due punti essenziali: «le principe du raisonnement des *Questions Mécaniques* n'est pas la mesure de la force par le produit poids-vitesse; ce raisonnement n'est pas une application des règles de proportionnalité énoncées par Aristote en *Phys*. VII 5» (1982, p. 125; cfr. p. 117 ss.). Anche Micheli sostiene che non c'è riferimento all'assunto aristotelico né a ciò che può far pensare alla nozione di momento statico (1995, p. 85). Più generalmente, bisogna tener conto del modo in cui i trattati minori sviluppano temi aristotelici: la riflessione sul movimento e sulle proprietà del cerchio è penetrante e assidua nel Peripato, e si presenta articolata nei diversi contesti; dipendenza diretta, vicinanza o ampliamento (e perfino contraddizione) rispetto alle opere sicuramente autentiche sono aspetti diversi che essa può assumere.

La sinteticità del testo e la sua problematicità, in relazione a diversi parametri di valutazione, lasciano molti dubbi. Si potrebbe interpretare in modo più generico: 'quel rapporto reciproco che esiste tra il peso mosso e quello che lo muove esiste anche tra le rispettive distanze dal centro', distanze che non sono altro che le lunghezze dei due bracci della leva, corrispondenti ai due raggi dei cerchi concentrici, data l'assimilazione del movimento della leva a quello del cerchio. La discussione di un altro problema (n. 29) può far ritenere tuttavia che l'autore abbia pensato anche qui a una proporzionalità inversa fra pesi e distanze, senza mirare alla formulazione di una legge: come si è detto, l'autore appare interessato più a rilevare rapporti che a introdurre relazioni matematiche precisamente determinate. Così anche nello scritto sui *Suoni*, il rapporto tra la fonte del suono, il movimento di propagazione, lo spazio percorso, il tempo impiegato per arrivare all'orecchio ed essere percepito, e le caratteristiche del suono è affermato in modo generico e occasionale, non valutato secondo una precisa proporzione (vd. Ferrini 2008, pp. 174 ss.; 191 ss.).

[141] Viene introdotta la nozione di 'facilità' di movimento, qui espressa dall'avverbio ῥᾷον (cfr. anche l'uso del termine *eukinetos*, 851 b 16; 31 s.; 852 a 2; b 6; cfr. *dyskinetos* 851 b 33; 852 a 27); essa va ad aggiungersi alla nozione di velocità, ma non la sostituisce.

[142] Cfr. l. 8; si tratta del peso-motore, della 'forza motrice'. Citando le linee 850 b 1-3 e 5-7, per esemplificare come venga spiegata

«l'operazione della distanza (e, quindi, della velocità) nella leva», Galluzzi osserva che nella *Meccanica*, accanto al concetto di 'inclinazione' prodotta dal peso (ῥοπή) e a esso proporzionale, viene illustrato «il principio meccanico in base al quale una piccola forza o peso riesce a equilibrare o vincere una forza o peso in sé maggiore, se dotata di una superiore velocità 'visuale'. Questo concetto, che oggi definiremmo *momento* 'statico', non veniva mai espresso esplicitamente nel testo greco da ῥοπή. Per chiarirlo, l'autore delle *Questioni* faceva anzi sempre ricorso a complesse perifrasi, dimostrando di non possedere un termine capace di indicarlo adeguatamente» (1979, p. 81).

[143] Vd. Fig. 9.

[144] Nelle edizioni varia l'interpunzione della l. 9. Il testo tuttavia non presenta difficoltà: sono indicate le posizioni in cui vengono a trovarsi il motore e il mosso.

[145] Si passa alla valutazione di ciò che si è esposto teoricamente: dalla quarta alla settima questione, l'esame del funzionamento della leva viene trasferito agli elementi costitutivi della nave.

Leonico Tomeo, commentando questo problema (ff. XXXII v.-XXXIII r.), richiama la distinzione tra i rematori *Thranitae*, *Thalamii*, *Zeugitae*, a seconda della fila di banchi occupata.

[146] Cfr. 850 a 31 ss. I due pesi, le due forze (resistenza e forza motrice) hanno adesso un nome e sono collegate a un oggetto e a un soggetto preciso. L'argomentazione si basa sul fatto che il remo è una leva, ma l'autore assume erroneamente che sia una leva di primo genere, in cui il fulcro è tra la potenza e la resistenza (peso); in realtà si tratta di una leva di secondo genere: «the fulcrum is where the blade dips into the water, and the weight (a portion of the weight of the ship) acts at the thole-pin» (Heath 1998, p. 237).

Nell'analisi di questa e della successiva questione, i commentatori rinascimentali si soffermano in particolare sulla corrispondenza qui stabilita tra l'acqua del mare e il peso, tra lo scalmo e il fulcro. Piccolomini si limita a parafrasare la 'dimostrazione', dichiarando che essa è «così facile, che habbiam giudicato soverchio descriverla in figura» (trad. di Biringucci, p. 48). Anche Biancani considera che la questione è chiara, per chi ha compreso la precedente; osserva tuttavia che il remo costituisce propriamente una leva di secondo genere («nam mare est hypomoclion, respectu enim navis non movetur, sed manet, scalmus autem simul cum tota navi est pondus motum; vere enim navis ipsa movetur. movens est ipse remex», p. 159). Allo stesso modo, Baldi pur lodando l'acuta argomentazione aristotelica, quasi scusandosi, precisa: «Ego autem si per modestiam liceret, dicerem, non quidem esse fulcimentum scalmum, sed mare ipsum, pondus vero navim, ad locum scalmi, nempe inter moventem potentiam, & fulcimentum positum» (p. 41; cfr. Monantheuil, pp. 70 e 76;

Guevara, p. 92 ss.). Cappelle parla esplicitamente di errore da parte di Aristotele: la nave è il peso, e il mare il fulcro («Revera [...] mare non est onus sed hypomochlium, navis vero onus est. Error Aristotelis ex eo ortus est, quod *vectem primae* tantum *speciei* noverit, ut hoc praecedenti capite jam monuimus» p. 200). All'osservazione di Baldi (p. 42) secondo cui i rematori «invalidiores» erano collocati al centro della nave, oppone (p. 199 s.) i versi di Apollonio Rodio, in cui il banco centrale è invece riservato a Eracle (vd. *Argonautiche* I 394-399: «quando ebbero preparato tutto con ogni cura, per prima cosa tirarono a sorte i banchi dei rematori, due uomini per ogni banco. Ma quello di mezzo lo riservarono ad Eracle, e, tra gli altri compagni, ad Anceo, che abitava la rocca di Tegea. Solo a loro, senza sorteggio, lasciarono il banco centrale»; trad. di G. Paduano, Milano 1999).

Lo stesso errore di considerare lo scalmo come fulcro e il mare come peso da spostare fa Vitruvio, *Architettura* X 3, 6; vd. Romano 1997, p. 1378, n. 92: «Vitruvio non si è accorto di essere davanti a un caso di leva di secondo genere e analizza male il problema: il fulcro teorico non è lo scalmo [...] ma l'acqua al livello della pala. Lo scalmo, un pezzo di legno a cui i remi sono legati con la corda, è il punto di applicazione della forza resistente, il manico del remo la forza motrice».

[147] Cfr. 850 b 2 s. Rispetto alla relazione stabilita (850 a 39-b 2), si constata ancora una volta che viene presa in considerazione solo una parte della proporzione tra pesi e distanze. L'accento è sempre posto sull'efficacia del movimento; prima si è parlato di facilità di spostare il peso (l. 3), ora della capacità di spostare carichi sempre maggiori, in relazione alla maggiore distanza dal centro. Cappelle spiega così il valore di μάλιστα (l. 10): «*Maxime*, id est, *velocissime eadem vi*; itaque *facillime*» (p. 198).

[148] Cfr. 850 b 3 s.

[149] Cfr. l. 16 ss. Nei frammenti di Galileo, di data incerta, relativi all'*arte navigatoria*, tra gli interrogativi su «quello che dice Aristotele» si legge: «se sia vero che quelli che vogano a mezza galera, voghino più che gli altri a poppa o a prua, parimente per ragione della leva» (ed. Favaro, vol. VIII, p. 609). Vd. anche la lettera di Galileo a Giacomo Contarini, datata Padova, 22 marzo 1593, in risposta a un quesito: «Quanto al far maggiore o minor forza, nel pingere avanti il vassello, l'essere il remo posato sul vivo o fuori, non fa differenza, sendo tutte l'altre circostanze le medesime: et la ragione è, che sendo il remo quasi una leva, tutta volta che la forza, il sostegno et la resistenza la divideranno nella medesima proporzione, opererà col medesimo vigore; et questa è propositione universale et invariabile [...] Il remo non è una semplice leva come le altre [...]» (nr. 47, ed. Favaro, vol. X, pp. 55-57).

[150] Cfr. 850 a 30. Corrisponde a un luogo comune la contrapposizione dell'immagine del *piccolo* timone a quella della *grande* nave che esso è capace di governare. Vd. per es., nel Nuovo Testamento, la *Lettera di Giacomo* 3, 4; Erone, *Meccanica* II 34 p, II p. 186, 14-19 Nix (vd. anche, in II 33, l'argomentazione che introduce la serie di domande del successivo capitolo). In Luciano, i personaggi nell'ammirare le dimensioni di una nave si stupiscono che a dirigerla sia un «ometto attempato, che fa girare con un'esile barra questi giganteschi timoni; me l'hanno indicato: è riccio, con pochi capelli; si chiama, mi pare, Erone» (*Nave* 6). Vd. anche la nota 164.

Guevara comincia il suo lungo commento (pp. 100-118) di questo problema sottolineandone la complessità: «Celebris est haec quaestio tum propter communem admirationem ortam ex parvitate gubernaculi, ac temonis respectu magnae molis nauigij [...] tum propter difficultatem, quae solutionem eiusdem quaestionis, ac doctrinam Philosophi hic sese offert». Dopo una capillare analisi, conclude che «in re tam occulta» sarà più prudente «ab Aristotelis doctrina non discedere». Nei frammenti di Galileo, appena ricordati, si legge: «Quale sia l'uso del timone, e come con esso si volga il vassello con tanta facilità» (ed. Favaro, vol. VIII p. 609).

Da notare l'uso del termine *dynamis* (ll. 29 e 30) riferito alle capacità, alle potenzialità sia di un oggetto, sia di un uomo; si potrebbe qui anche considerare che dietro quell'oggetto è in ogni caso immaginato un uomo che lo manovra.

[151] Il timoniere è 'colui che muove', che imprime il movimento, il motore, dato che 'muovere' implica qui agire come forza motrice; «the moving force» traduce Forster; «the motive force» Hett.

[152] Il nesso preposizionale κατὰ πλάτος (cfr. 851 a 2 s.) significa 'nel senso della larghezza': si fa riferimento alla parte piana e più larga del timone. Il termine *platos* indica in geometria una delle tre dimensioni; Aristotele nella *Fisica* distingue appunto tra *mekos* (lunghezza), *platos* (larghezza), *bathos* (profondità; IV 1, 209 a 5, cfr. Platone, *Sofista* 235 d; *Leggi* X 896 d; Euclide, *Elementi* I def. 5; XI def. 1).

Anche il termine *plagios* (vd. l. 37, dove è usato come avverbio) avrà un uso tecnico in geometria con Apollonio (vd. Mugler 1958, p. 348). Cfr. Platone, *Timeo* 39 a; 43 e; Aristotele, *Meteorologia* I 4, 342 a 23 ss.; *Cielo* II 2, 285 b 11 ss.; *Ricerche s. an*. IV 1, 524 a 13; V 7, 541 b 29; *Problemi* XVI 13, 915 b 25.

Sul timone-remo dell'antichità richiama l'attenzione Cappelle (p. 202). Controversa è la questione relativa alla sua efficienza: «Qualcuno la considera scarsa, tale da porre un limite insuperabile alle dimensioni e alla sicurezza delle costruzioni navali antiche, altri la celebra come superiore a quella moderna, almeno per un aspetto impor-

tante: il timone-remo avrebbe richiesto uno sforzo assai minore per la manovra, essendo (a differenza di quello incernierato, almeno nella sua forma più elementare che fu l'unica per secoli) 'compensato' rispetto alla spinta dell'acqua nel movimento. Questo è probabilmente vero, ma non pare che il vantaggio valesse quanto il pregio della maggior facilità di manovra del timone moderno. Tutte le testimonianze dicono che la funzione del timoniere era nell'Antichità molto più delicata e difficile che sulle navi dell'età moderna» (Janni 1996, p. 90).

[153] Sul movimento della nave e su ciò che ne determina le varie posizioni, si sofferma in modo particolare Baldi, che esprime il proprio parziale dissenso da Aristotele (p. 45) e propone una lunga dimostrazione, accompagnata da disegni, basandosi anche su ciò che egli ha avuto occasione di osservare durante i viaggi sul Po (pp. 42-50).

Anche Biancani è molto critico nei confronti di Aristotele: il suo commento a questo problema incomincia proprio col rilevare l'errore di aver considerato anche in questo caso, come nel precedente, una leva di primo genere e non di secondo, come sarebbe stato corretto: «Quemadmodum in praecedenti quaestione Arist. vectem secundi generis ad solutionem non adhibuit, ut par erat, & propterea obscurior evasit, ita etiam in praesenti, quaestionem ad vectem primi generis reducit, quae ad alterum reducenda erat: atque hinc obscuritas, atque prolixitas solutionis manavit» (p. 159). La complessità del problema lo porta tuttavia a inserire, dopo le proprie osservazioni (pp. 159-162) una nota di un 'acutissimus Mathematicus': *In Problema Mechanicum Arist. de motu Nauigij ex remis, annotatio Petri Nonij* (pp. 162-168). Si tratta di una quasi completa citazione della lunga nota di Pedro Nuñes (1573; vd. introduzione e bibliografia).

[154] Cappelle (p. 33) scrive μὲν εἰς τὸ ἐντός sulla base del Par. A (cfr. Sylburg p. 300, *ad loc.*).

[155] Il movimento dei proietti e la loro caduta vengono analizzati anche con riferimento al concetto di 'continuità' nei *Problemi*; particolarmente interessante è il confronto tra quello che accade con i gravi in movimento e quello che accade con le voci (XI 6, 899 a 22-b 17; vd. anche XVI 3-4, 913 a 34-b 36; 12-13, 915 b 6-35). Nella *Fisica* V 3, 226 b 18 ss., Aristotele definisce alcuni concetti implicati nel movimento, tra cui appunto 'il continuo' (*to syneches*): «Una cosa è 'mossa con continuità', se essa non lascia nessun intervallo, o l'intervallo minore possibile fra le cose: non un intervallo di tempo [...] ma un intervallo nelle cose nelle quali il movimento si sviluppa. Questo è evidente sia nel caso dei mutamenti locali sia negli altri tipi di cambiamento» (226 b 27-31); «Il 'continuo' rientra fra ciò che è contiguo: dico 'continua' una cosa, quando il limite che esiste fra due

cose, ciò per cui esse sono in contatto, è lo stesso e unico termine e, come dice il nome, ‘essi stanno assieme’» (*ibid.* 227 a 10-12); cfr. VI 1, 231 a 21 s.; 2, 232 a 23 ss. (si analizza il rapporto del continuo con tempo e grandezza).

[156] Cfr. *Moto d. an.* 7, 701 b 24-32: una piccola modificazione dove è cominciato il movimento determina molte differenze nella parte periferica: «È chiaro che una piccola modificazione nel principio – ἐν ἀρχῇ – produce di conseguenza molte differenze, come spostando di pochissimo il timone si fa grande lo spostamento della prora. Qualora inoltre, in conseguenza del riscaldamento o del raffreddamento o di qualsiasi altra affezione simile, si produca un’alterazione al cuore, anche se in esso in misura impercettibile, si ha una grande differenza nel corpo con rossori e pallori, brividi, tremori o con i fenomeni opposti». Il passo è inserito in un contesto in cui si confrontano il movimento degli animali e quello degli *automata* (701 b 2 ss.; vd. introduzione); il paragone suggerisce ad Aristotele l’immagine di una reazione a catena: un piccolo impulso è capace di provocare movimenti relativamente grandi. Osservazioni simili si leggono nella *Riproduzione degli animali* (I 2, 716 b 3-5: «Bisogna rilevare che, mutando un piccolo principio, mutano solitamente anche molte caratteristiche che a quel principio si accompagnano»; V 7, 788 a 11-16: «Piccoli mutamenti causano grandi effetti, non di per sé, ma quando accade che insieme si muti un principio. I principi infatti sono piccoli di dimensione, ma grandi per le proprie potenzialità, e appunto in questo consiste l’essere principio: esso è causa di molte cose e non ha antecedenti»). Interessante anche il confronto con *Cielo* I 5, 271 b 12 s.: il principio è più importante per la sua potenzialità che per la sua dimensione; ciò che all’inizio è piccolo può diventare molto grande alla fine. Più generalmente si osservano la stretta relazione tra i diversi ambiti di ricerca, e il valore che in essa ha il modello biologico.

L’angolo è qui ovviamente quello che ha per vertice il centro del cerchio e che ‘insiste’ su un arco di circonferenza o su una corda; cfr. 849 b 3 ss.; 857 a 31 s.: la velocità angolare è la stessa, ma la velocità tangenziale è maggiore. Interessante è l’uso del verbo καθῆσθαι (l. 13; cfr. 851 a 4) e del nesso αἱ περιέχουσαι (γραμμαί/ εὐθεῖαι), a l. 14: ‘le linee o le rette che includono, comprendono, contengono l’angolo’. In Euclide è usato il verbo *bainein* per indicare, soprattutto al perfetto, che una figura, un angolo in particolare, è costruito su certi elementi geometrici come un arco di cerchio, vd. *Elementi* III def. 9: «Quando le rette che comprendono l’angolo – αἱ περιέχουσαι τὴν γωνίαν εὐθεῖαι – stacchino un certo arco, l’angolo è detto insistere – βεβηκέναι – su quello»; cfr. III 26; 27 e *passim*. Mugler (1958, p. 94) individua in due passi di Platone (*Parmenide* 138 c; *Crizia* 121 c) l’inizio di un uso specifico, geometrico, di *bebeka*. Per l’uso del verbo

periechein in Euclide («Expr. verbale se disant d'éléments géométriques, lignes ou surfaces, entourant, entièrement ou en partie, des angles, des aires ou des volumes», Mugler 1958, p. 341) vd., in particolare le definizioni (9; 14 s.; 18 s.) del primo libro degli *Elementi*.

L'uso aristotelico di *periechein* è vario: *to periechon* può indicare 'ciò che contiene cingendo', l'ambito in senso sia fisico sia logico, l'universale, che abbraccia molte cose (*Fisica* IV 4, 211 a 36; *Metafisica* Δ 26, 1023 b 30). La forma (*eidos*) e la materia (*hyle*) stanno tra loro come il contenente al contenuto (*Cielo* IV 4, 312 a 12 s.); così, il concetto di *periechein* si avvicina a quello di *horizein* (vd. per es. *Fisica* III 6, 207 a 31 s.; IV 4, 211 a 26; 211 b 11 s.): alla nozione di *eidos* e di *horizein* sembra connettersi l'uso del verbo in questo passo della *Meccanica*. In Euclide ricorre, nel senso di 'delimitare', il verbo *perainein* o più raramente il verbo *peratoun* (vd. per es. *Elementi* I def. 17: «il diametro del cerchio è una certa retta condotta per il centro e delimitata – περατουμένη – da una e dall'altra parte dalla circonferenza del cerchio, la quale seca anche il cerchio a metà»; cfr. Aristotele, *Cielo* I 6, 273 a 13-15).

Forster (1913) così spiega (vd. Fig. 10 a): siano αγ e βγ le due posizioni dell'imbarcazione, α e β sono la poppa, γ la prua; αγ e βγ saranno le due linee che delimitano l'angolo γ. «A force acting along αβ need not be so great as one acting along δε in order to move the same mass about the apex of the triangle».

[157] Si potrebbe pensare a un riferimento all'attrito, minore nell'aria (vd. Piccolomini, f. XXVI v.); bisogna in ogni caso tener conto anche di altre qualità associate tradizionalmente a questi due elementi. Cappelle osserva: «Haec propositio, vera tantum in corporibus libere motis, pessime ab Aristotele ponitur pro fundamento insequentis ratiocinii» (p. 213).

[158] Vd. Fig. 10.

[159] Il passo è corrotto in gran parte della tradizione, vd. Cappelle pp. 36 e 213: il suo testo, fondato sul Par. A, è seguito dagli editori. Leonico Tomeo non lo traduce.

[160] Anche in questo caso si impone la lezione ἧ di una parte della tradizione.

[161] Cappelle segue anche qui il Par. A; Sylburg annota: «pro καθεστηκὸς quidam legunt μεθεστηκὸς» (p. 301).

Heiberg (1904, p. 30) propone il confronto tra la linea 23 s. (ἐλάττων – τὰ τρίγωνα) con Euclide, *Elementi* VI 4 e V 14.

[162] τὸ Α, μετεχώρει δὲ τὸ Α οὗ τὸ Δ è la lezione accolta da Cappelle e dagli editori successivi, invece della lezione evidentemente corrotta: τὸ Α μὴ ἐχώρει οὗ τὸ Δ.

[163] Il termine οἴαξ indica propriamente la barra del timone (πηδάλιον: 850 b 28; 33; 851 a 11; 32), e per estensione tutto il timone.

«Nella sua forma più progredita il timone antico portava una barra trasversale impugnata dal timoniere, peraltro non paragonabile per dimensioni e robustezza alla barra di un timone moderno. Qui concordano perfettamente le raffigurazioni e i testi letterari che designano moltissime volte questo elemento con un preciso termine: *oiax* in greco e *clavis* in latino» (Janni 1996, p. 89 s.).

[164] Interessante il confronto con un passo dell'*Architettura* di Vitruvio (X 3, 5): «Il pilota di una nave da carico molto grande impugna la barra del timone, o, come la chiamano i Greci, *oiax*, con una sola mano imprime a quest'ultimo il movimento, mediante una spinta, data esercitando pressioni attorno all'asse secondo una tecnica precisa, e così fa virare tale nave, caricata del peso grandissimo, addirittura smisurato di merce e di provvista di viveri». Elisa Romano così commenta: «Le testimonianze antiche non mancano di porre l'accento sulla grande facilità di manovra del timone rispetto ai carichi che le navi trasportavano, ma nessuna descrive dettagliatamente la manovra, e sul modo in cui tale manovra applicava il principio della leva sono state formulate varie ipotesi» (1997, p. 1377, n. 90). Vd. qui le note 150 e 152.

[165] Il termine tecnico sarebbe 'scassa'. Anche Vitruvio fa seguire al problema del timone quello delle vele (vd. più avanti); cfr. Lucrezio IV 901-906.

Nei frammenti sull'*arte navigatoria* di Galileo, si legge: «Se sia vero quello che dice Aristotele, cioè che più gagliardamente spinga la vela quanto più è alta; e se ciò avviene per la ragione addotta da esso, e presa dalla leva» (ed. Favaro, vol. VIII p. 609).

[166] In un contesto diverso, si valuta ora che il peso sia la nave; cfr. invece 850 b 12; 34; 38.

[167] Cfr. 850 b 2 ss.; 14 ss.

[168] Allo stesso modo, in Vitruvio, il piede dell'albero fa da fulcro: «Quando le sue vele sono appese a metà dell'altezza dell'albero la nave non può avere una navigazione veloce, quando invece le antenne sono state drizzate sulla cima dell'albero allora avanza con più forte slancio, e ciò perché le vele prendono su di sé il vento trovandosi non troppo vicino al piede dell'albero, che fa da fulcro, ma in cima, notevolmente distanziate rispetto a quel punto. Così, nello stesso modo in cui una leva inserita sotto un carico, se si fa pressione sul suo centro, offre maggiore resistenza e non si inclina, quando invece la sua estremità viene abbassata solleva facilmente il carico, analogamente le vele quando sono sistemate a metà albero hanno minore efficacia, quando invece le si attacca in cima, nel punto più alto dell'albero a una notevole distanza dall'asse, non in presenza di un vento più forte ma con lo stesso vento, grazie però alla pressione esercitata sulla cima, fanno avanzare la nave con maggiore slancio» (*Architettura* X 3, 5-6).

I commentatori hanno messo in evidenza gli errori di questi passi. Baldi illustra con una figura il contenuto del passo aristotelico, e aggiunge, prima della propria argomentazione: «Plausibilia sunt haec, at certe per veritatem ipsam, non vera» (p. 51). Cappelle considera questo terzo esempio tratto dalla nautica inficiato «gravissimis [...] vitiis», il primo dei quali consiste nell'aver assimilato l'albero a una leva. Conclude che il vento in alto rallenta la nave: «Quo altius enim ventus in malum agat, eo magis puppis elevabitur et prora submergetur, et eadem ratione navis majori vi ab aqua coërcebitur» (p. 216); la ragione di ciò che si voleva sostenere doveva essere, secondo Cappelle, cercata altrove: «scilicet in velociori motu ipsius aëris in superioribus regionibus» (p. 217). Forster commenta che l'unico effetto di alzare il pennone sarebbe stato di far sbandare la nave o di abbassare la prua o la poppa, a seconda dei venti; propone tuttavia una spiegazione: «the Greek sailor, being essentially a coaster, preferred a high sail in order to catch the wind which might be cut off by hills and cliffs» (1913, *ad loc.*). A questa spiegazione rinvia Heath, come all'unica possibile (1998, p. 239). Anche Hett richiama l'attenzione sugli effetti di una posizione più alta delle vele, nella nota al passo: «This is of course untrue. For any sail of given size (at right angles both to the ship and the wind) the higher the sail the more the bows will dip, owing to the resolved part of the force acting downwards» (p. 360 s.).

Riguardo al passo di Vitruvio, appena citato, Elisa Romano commenta: «In questa spiegazione del principio delle vele Vitruvio si sbaglia: non c'è alcun rapporto fra il principio della leva e la navigazione a vela, l'andatura è più veloce quando le vele sono più alte perché il vento a una certa distanza dal livello del mare agisce maggiormente. Questo errore accomuna V. allo pseudo-Aristotele [...] che pone il problema negli stessi termini di V., stabilendo una equivalenza fra l'albero e la leva, fra il piede dell'albero e il fulcro, fra l'imbarcazione e il peso da spostare, fra il vento e la forza motrice. Se a proposito di V. si può pensare che egli erediti un errore della tradizione meccanica, l'errore dello pseudo-Aristotele si può spiegare forse alla luce di una falsa analogia con il problema seguente (*Mech.*, 7), relativo al caso in cui una nave si inclina da un lato e i marinai devono controbilanciare piegandosi in senso contrario, dove realmente l'albero fa da leva e più il pennone è alto più la forza motrice si allontana dal fulcro» (1997, p. 1378, n. 91).

Nel leggere i trattati antichi e nel valutarne le affermazioni, bisogna tener conto del contesto argomentativo in cui si trovano e dello scopo della dimostrazione che si fa di volta in volta: qui si applica alla nave, considerata quasi astrattamente come oggetto geometrico, il principio della leva, che si vuole esemplificare.

[169] L'espressione ἐξ οὐρίας indica qui: 'come se il vento fosse favorevole anche quando non lo è', o 'anche quando non è in poppa'; si descrive infatti come fare quando il vento *non* è in poppa. Il passo è prezioso e famosissimo in tutte le trattazioni di nautica antica; vd. la Fig. 11, spiegata nel testo di Stefano Medas (2004, fig. 85, p. 197) da questa didascalia: «Manovra di riduzione della vela quadra per rimontare un vento contrario, per contrastare un vento forte da prua o per mettersi alla cappa, facendo assumere alla tela una forma triangolare. La ricostruzione si basa sull'interpretazione delle fonti scritte».

Nella tradizione c'è forse traccia dell'apparente contraddizione che qualcuno può aver notato tra questa espressione e le condizioni non favorevoli di vento: Sylburg ricorda, nelle note di commento, la lezione ἐκ κεραίας (p. 301); questa lezione è accolta nel testo da Monantheuil (vd. pp. 94; 96; cfr. Cappelle, p. 218). Leonico Tomeo traduce: «Cur, quando ex puppi navigare voluerint non flante ex puppi vento [...]».

[170] Bussemaker (p. 60) suggerisce dubitativamente nel testo un emendamento: ὃ (διό?). Il suo suggerimento è accolto da Forster.

[171] Sembra preferibile intendere così, piuttosto che: 'ed è il timone a dirigerla verso il vento favorevole'. Qualche esempio di traduzione: Leonico Tomeo («propellit quidem igitur ipse ventus: in puppim vero illum constituit gubernaculum»); Monantheuil («ventus igitur perpellit, quem secundum facit gubernaculum»); Cappelle («Itaque ventus quidem navem propellit, gubernaculum vero eum quasi secundum facit»); Forster («The wind then bears the ship along, while the rudder turns the wind into a favouring breeze»); Hett («In this way the wind carries the ship forward, but the rudder turns it into the wind»); Bottecchia («In tal modo il vento spinge in avanti la nave, ma al vento in poppa resiste il timone»). Il verbo *kathistanai* ha nel *C. A.* una interessante varietà di accezioni, oltre alle più consuete, come dimostrano efficacemente i *Problemi*, vd. per es. XI 27, 902 a 34; XXIII 17, 933 b 5, 7, 10; XXVI 2, 940 a 38; 13, 941 b 27.

[172] Controversa è anche qui l'interpretazione: diversamente da Baldi («Nautae autem ideo in partem navis [...] quae versus ventum est, se conferunt, ut vento aequilibrium faciant, ne scilicet navi in contrariam partem pellente spiritu, eam demergat», p. 55), intende Cappelle («intelligo de remigibus, qui, si gubernaculum solum non sufficeret, in auxilium vocabantur, ut etiam remigatione navem in contrarium venti moverent», p. 224).

[173] Nei *Problemi*, oggetto di alcuni quesiti sono proprio le forme rotonde. In un passo che costituisce anche un'interessante testimonianza sulla distinzione di Archita tra movimento naturale (circolare), a cui è inerente un rapporto di uguaglianza, e un movimento di-

verso, non naturale (vd. 47 A 23a, I p. 430 D.-K.), ci si chiede «Perché le parti delle piante e degli animali che non servono come organi hanno tutte una forma rotonda [...] e nessuna, né per intero né parzialmente, ha una forma triangolare o poligonale? Forse perché, come diceva Archita, il rapporto di uguaglianza è inerente a ogni movimento naturale (il movimento avviene sempre secondo un rapporto), e perché questo è il solo a tornare su sé stesso ripiegandosi, e a creare di conseguenza cerchi e forme rotonde, quando si verifica?» (XVI 9, 915 a 25-32). La crescita normale degli esseri viventi, efficacemente assimilata a un movimento, anche secondo il pensiero aristotelico, comporta forme rotonde. Subito dopo si pone una domanda simile: «Perché alle estremità si hanno sempre forme rotonde? Forse perché la natura fa tutto nel modo migliore e più bello possibile, a partire da ciò che ha a disposizione, e la forma rotonda è la più bella, la più simile a sé stessa?» (XVI 10, 915 a 33-36). Unitamente alla diffusa concezione secondo cui il cerchio è la forma geometrica perfetta e più bella si esprime, anche in questo caso, la teoria aristotelica sul modo di agire della natura. In un'altra sezione dedicata a questioni riguardanti l'acqua salata e il mare, si dà una spiegazione 'meccanica' del perché le conchiglie e le pietre diventino rotonde nel mare: «Forse perché le loro estremità rotte tutt'attorno in maniera uniforme assumono una forma rotonda? La superficie che delimita queste forme è regolare, e il mare muovendole in ogni senso rompe i loro margini in modo regolare» (XXIII 36, 935 a 37-b 2; cfr. 33, 935 a 9-17).

Piccolomini, nell'introdurre l'analisi della questione qui posta e argomentata in modo molto complesso, scherzosamente afferma che se essa fosse illustrata da uno degli antichi interpreti greci di Aristotele («i quali dichiarano con più parole le sententie del Filosofo»), egli non dovrebbe «durar tanta fatica» (trad. di Biringucci, p. 54). La difficoltà di questo passo sta soprattutto nel lessico.

[174] Cappelle approva la distinzione tra il movimento del cerchio «qui fit *secundum absidem, centro simul moto*» e quello «qui fit *circa centrum*, *ipso quiescente centro*»; non sarebbe stato invece necessario dividere quest'ultimo in due, considerando il movimento del cerchio perpendicolarmente o parallelamente «*horizonti* [...] cum revera ambo motus ad idem redeant» (p. 228). Nel trattato sul *Cielo*, Aristotele attribuisce ai corpi sferici due movimenti: *kylisis* e *dinesis* (II 8, 290 a 9 s.). La tripartizione, al di là della funzionalità che pure ha in questo contesto, corrisponde in realtà a una tendenza, ricorrente anche nel *C. A.*, a suddividere così, quando si ripercorrono i possibili aspetti di qualche cosa, fenomeno o evento, o si specificano i modi in cui qualcosa viene detto; vd. per es. *Analitici primi* II 21, 67 b 4 s.; *Topici* I 7, 103 a 7; 8, 103 b 1; *Fisica* V 2, 226 a 19 s.; *Cielo* I 1, 268 a 24 s. (tutto

il passo, 268 a 7-24, è una celebrazione della triade, partendo dalle affermazioni dei Pitagorici); *Ricerche s. an.* VIII 2, 590 a 13-16; *Metafisica* Δ 6, 1016 b 27 s.; *Etica Nicomachea* I 8, 1098 b 12 s.; *Poetica* 2, 1448 a 1-14; *Colori* 1, 791 a 13-19; 3, 793 a 1-6. Inoltre, è da notare che qui la formulazione puramente geometrica è accompagnata da esempi concreti: certamente, la ruota del carro, la puleggia o carrucola dell'argano, la ruota del vasaio costituiscono i riferimenti più immediati. Si può ricordare l'importanza che gli antichi attribuivano all'invenzione della ruota del vasaio, vd. Posidonio fr. A321, 31 Vimercati (cfr. Omero, *Iliade* 18, 600 s.); Diodoro Siculo, *Biblioteca* IV 76, 5.

Il termine ἁψίς (l. 17) è un termine tecnico, ma non specifico della geometria; esso ha impieghi diversi sia nella poesia sia nella prosa (vd. per es. Omero, *Iliade* 5, 487 dove ha il significato di 'maglia', 'nodo' di rete; in Esiodo, *Opere e giorni* 426, e in Erodoto IV 72, 3 indica la 'ruota', o settore di ruota; in Euripide, *Ione* 87 s., il 'cerchio', il disco del sole; in Platone, *Fedro* 247 b, la 'volta' del cielo; col significato traslato di 'volute' di versi si legge nelle *Donne alle Tesmoforie* di Aristofane, v. 53: interessante esempio di metafora tratta dal mondo artigianale e riferita alla composizione letteraria). Aristotele lo usa nella *Meteorologia*, quando descrive la forma diversa dell'arcobaleno, rispetto all'alone che consiste in un cerchio intero: «Non si forma mai un cerchio intero dell'arcobaleno, né una sezione più grande di un semicerchio – μεῖζον ἡμικυκλίου τμῆμα. Quando il sole tramonta e sorge è minimo il cerchio, massima la sezione – μεγίστη δ' ἡ ἁψίς; quando è più alto, il cerchio è più grande e minore la sezione» (III 2, 371 b 26-29). Lucio Pepe, in nota alla sua traduzione, spiega che per 'sezione' si intende qui la parte di semicerchio che appare sopra l'orizzonte (2003, p. 237 n. 5). Pierre Louis, nella sua edizione, traduce il termine ἁψίς con *arc* (1982, II p. 7): questo è il significato che il termine ha anche in Eliodoro, *Etiopiche* X 6, 2, cfr. Cassio Dione, *Storia di Roma* XLIX 15, 1; LI 19, 1; LXI 17, 2. Il termine indica quindi in genere un oggetto di forma curva, arcuata. Qui si può intendere 'circonferenza' (così anche Bottecchia; Forster traduce «circumference»; Hett «felloe»), nella sua interezza o in una sua parte, cioè quella che di volta in volta è in limitato contatto col piano. Si può osservare che il termine *hapsis* è connesso con il verbo *haptesthai*; sull'uso di questo verbo nel linguaggio della geometria, vd. Mugler 1958, pp. 80-82.

[175] Il termine γωνία (cfr. l. 38; 855 a 36; 851 a 13), 'angolo', è stato qui così inteso: «ἡ γωνία hic est *angulus*, *quem circulus facit cum plano*, *cui insistit*» (Cappelle, p. 224; l'autore fa notare che Aristotele si è espresso in modo poco accurato, volendo in realtà dire che la 'circonferenza' del cerchio è discosta dalla terra, con la quale forma un

angolo); «angle – i. e. the circumference which forms an angle with the ground» (Forster 1913, *ad loc.*); «angle of contact» (Heath 1998, p. 239); «'Bogen' (Peripherie)» (Krafft 1970, p. 95: l'equivalenza di γωνία con 'arco' si spiegherebbe meglio, pensando a una datazione alta dello scritto, e sarebbe in relazione con le prime divisioni del cerchio secondo gli angoli, in geometria e in astronomia); «margine ricurvo» (Bottecchia 2000, p. 85). Le interpretazioni si basano sul fatto che il termine περιφέρεια può indicare sia la circonferenza sia un arco di cerchio; vd. per es. Euclide, *Elementi* III def. 6: «Segmento di un cerchio – τμῆμα κύκλου – è la figura compresa sia da una retta sia da un arco di cerchio – ὑπό τε εὐθείας καὶ κύκλου περιφερείας» (cfr. Mugler 1958, p. 344 s.). Aristotele usa περιφέρεια con questo valore nella *Meteorologia* (vd. III 4, 375 b 4, 6-7): tutta l'argomentazione geometrica sull'arcobaleno e sull'alone, nel libro terzo, offre più generalmente un interessante materiale di confronto.

Si può anche far riferimento agli *Elementi* di Euclide, all'angolo di semicerchio: «La retta condotta ad angoli retti – πρὸς ὀρθὰς – con il diametro del cerchio da un suo estremo cadrà all'esterno del cerchio, e nel luogo tra la retta e la circonferenza non si interpolerà un'altra retta, e l'angolo del semicerchio è maggiore di ogni angolo rettilineo acuto, e il restante è minore [...] Dico anche che l'angolo del semicerchio – ἡ μὲν τοῦ ἡμικυκλίου γωνία –, quello compreso sia dalla retta BA sia dall'arco ΓΘΑ, è maggiore di ogni angolo rettilineo acuto, e il restante, compreso sia dall'arco ΓΘΑ sia dalla retta AE, è minore di ogni angolo rettilineo acuto» (III 16; vd. Fig. 12). Vd. anche le note 180 e 256, le considerazioni fatte a proposito dell'uso del termine *hapsis*, nella nota precedente, e la nota 190 dell'introduzione.

[176] Nel trattato sul *Cielo*, Aristotele così distingue e definisce: «Ogni figura piana è rettilinea – εὐθύγραμμον – o curvilinea – περιφερόγραμμον: quella rettilinea è limitata da più linee, quella curvilinea da una sola. Dato che in ciascun genere l'uno è anteriore ai molti, e il semplice è anteriore ai composti, il cerchio è la prima delle figure piane» (II 4, 286 b 13-18); cfr. *Problemi* XV 1, 11-18; 6, 911 b 3-34; XVI 4, 913 b 15-20.

[177] Qui si usa il nesso πρὸς ὄρθιον, meno usuale rispetto a πρὸς ὀρθὰς (γωνίας).

[178] Cfr. 10, 852 a 25 ss.; 12, 852 b 6; 31, 858 a 3-12. Questo passo e il successivo sono molto importanti: l'autore osserva un fenomeno che avrebbe potuto suggerirgli il principio di inerzia; egli incentra invece la propria argomentazione sul ragionamento polare. Come si è detto nell'introduzione, gli avanzamenti nell'analisi del movimento, rispetto ad Aristotele, sono attribuiti da alcuni a Stratone di Lampsaco.

[179] L'autore introduce questa affermazione come *doxa*, e parla di oggetti, di corpi che tendono a rimanere fermi, e di una forma, la circonferenza, che tende a muoversi, anzi è sempre in movimento (nel trattato sul *Cielo* II 3, 286 a 10-12, l'unico movimento circolare continuo è quello del cielo). Egli è in ogni caso interessato non tanto alla continuità di questo moto, quanto alla sua facilità, velocità ed efficacia, e vuole dimostrarlo, riprendendo subito dopo il concetto di *rhope*.

Cappelle coglie qui una vaga nozione della forza di inerzia: «nescio an obscura reperiatur notio ejus, quod recentiores vocant *vim inertiae*, illam significantes proprietatem corporum, qua in statu suo vel motus vel quietis permanent, nisi vis quaedam externa accedat» (p. 225). Così anche Forster 1913, *ad loc.*

Interessante il confronto con Aristotele, *Fisica* IV 8, 215 a 20-22 (un corpo «o sarà in riposo, oppure necessariamente deve essere mosso all'infinito, a meno che esso non sia fermato da qualcosa di più potente»); *Problemi* XVI 3, 913 a 37 ss. (vd. Flashar 1991, p. 580, *ad loc.*; Ferrini 2002, pp. XXXIV; 250 ss.); Plutarco, *Il volto della luna* 6, 923 c («ogni oggetto è dominato dal suo moto naturale finché non sia deviato da qualcos'altro»). Heath, richiamando il passo della *Fisica*, ritiene che l'affermazione aristotelica sia molto probabilmente «an attempt to express the truth stated in Newton's First Law of Motion» (1998, p. 240, n. 1; cfr. p. 115 s.). Riguardo al passo di Plutarco, Luigi Lehnus invita a tener conto anche di una fondamentale distinzione tra il principio di inerzia plutarcheo e la prima legge di Newton: «Il moto orbitale non è qui un moto rettilineo uniforme sottoposto ad accelerazione gravitazionale, bensì un moto 'naturale' di caduta preventivamente rimosso, o 'frustato', dalla rotazione» (vd. ed. a cura di Dario Del Corno 1991, p. 128, n. 51).

[180] La difficoltà nell'interpretazione del termine γωνία (vd. le note 175 e 256) è stata avvertita e discussa da tutti i commentatori, e si lega qui a quella del termine ῥοπή, in cui sembra sovrapporsi il senso sia di 'direzione' dell'inclinazione (vd. l'uso del verbo ῥέπειν), sia di 'intensità', in rapporto col peso o con la forza (vd. l'uso di βάρος e di ἰσχύς), di causa, intrinseca, del movimento, di forza motrice. Esso esprime essenzialmente il concetto di inclinazione o tendenza 'naturale', di connaturata dinamicità.

Piccolomini argomenta stabilendo questi presupposti: «Chiamo in questo caso angulo tutta l'inchinatione o accostamento delle linee che lo costituiscono [...] in questo luogo gli angoli si deven intendere con tutte le linee, e con tutto lo spatio che quelle comprendono nel modo che habbiam detto, come anco sono intesi da Aristotile. Hanno dunque gli anguli dei circoli maggiori presi in questa maniera, un certo impeto oltre a quelli dei minori, & aggiungono a quelli

una certa gravezza pronta al moto, intendendosi però nei cerchi, che son d'intorno all'istesso centro» (trad. di Biringucci, p. 56 s.).

Monantheuil precisa: «hic [...] notandum est angulos non sumi pro inclinatione: sed pro crurum longitudine» (p. 107 s.; vengono raffigurati cerchi concentrici).

Biancani intende per 'angolo' un 'arco': «pro minore angulo intelligendus est arcus C B, pro maiore autem arcus D E, quorum uterque vocatur angulus, quoniam angulo A, qui est in centro opponuntur» (p. 170; l'autore immagina e raffigura due cerchi concentrici in A: BAC è l'angolo del cerchio minore; DAE quello del maggiore).

Baldi spiega che qui Aristotele chiama gli angoli *sectores*, «oportet enim circulos tum maiores tum minores circa idem centrum esse constitutos» (p. 58). Guevara valuta negativamente l'interpretazione di Piccolomini, di Baldi e di Biancani, e afferma che per l'angolo del cerchio si deve intendere l'angolo «qui ex diametro, vel semidiametro, ac portione circumferentiae efficitur, quem angulum Euclides vocat etiam angulum semicirculi» (p. 134). Cappelle, dopo aver brevemente esposto le opinioni dei commentatori rinascimentali, conclude che si deve intendere l'angolo che la circonferenza del cerchio forma con il piano su cui insiste: rispetto alla l. 23 s., Aristotele mette in evidenza la diversa 'inclinazione degli angoli' («angulorum nutum») nei due cerchi (p. 227).

Forster spiega in nota alla sua traduzione («because the angle of the larger circle as compared with that of the smaller has an inclination which is in the same proportion as the diameter of the one is to the diameter of the other») che gli angoli messi a confronto sono formati dai diametri dei due cerchi e da una porzione di circonferenza: «The angle αβδ is greater than the angle εβγ in proportion as the diameter αβ is greater than the diameter εβ» (1913, *ad loc.*; vd. Fig. 12 a: questa figura e l'interpretazione di Forster sono discusse da Heath, 1998 p. 249, nell'analisi del problema nr. 24). Gohlke interpreta «Biegung» (1957, pp. 37 e 138 n. 10; cfr. pp. 49 e 139 n. 20). Per capire diventa importante in questo caso il rapporto stabilito con i diametri; ritengo pertanto che colga nel giusto Heath intendendo 'archi sottesi': «On the analogy of the 'angle of a semicircle' [...] we might suppose that the 'angle of a *circle*' is here also the 'angle' formed by a diameter, at its extremity, with the circumference at that point. But these 'angles' in two unequal circles are not in the ratio of the diameters either. It is only the *arcs* of the circles subtended by the angles that are in the ratio of the radii or diameters; and it seems better on the whole to suppose that the subtended *arcs* are meant» (1998, p. 240). Krafft condivide questa opinione, e afferma che il rapporto tra «Peripherie (Bogen)» e diametro ha un ruolo anche nel capitolo 24, 855 a 36 ss.: verrebbe così utilizzato o presupposto, nella

Meccanica, il principio geometrico del rapporto tra diametro e circonferenza, rapporto che sarà calcolato da Archimede (nella *Misura del cerchio*) e indicato più tardi con il simbolo del numero che lo esprime: π, *pi greco* (1970, pp. 93; 85 s.). Vd. anche l'ampio commento di Bottecchia (2000, pp. 175-180), che qui rende γωνία con il termine 'arco'.

Anche in questo caso, si nota che l'autore non mira a stabilire un preciso rapporto, a quantificarlo, ma solo a porre un principio, che sarà ripreso nel problema seguente.

A l. 39, Cappelle emenda ὅπερ in ὥσπερ (vd. pp. 44 e 227), sulla base della traduzione di Leonico Tomeo, che tuttavia sembrerebbe leggere in modo diverso anche le parole seguenti («et sicuti diameter ad diametrum, ita maior circulus ad minorem»); cfr. 850 a 39-b 1, e la nota relativa.

Da notare l'uso del verbo *echein* nelle linee 851 b 38 e 852 a 9: l'angolo, che ha determinate proprietà, 'implica' un determinato movimento; si potrebbe dire anche che all'angolo 'è associata' una certa propensione al moto. Il verbo fa parte del linguaggio geometrico, vd. Mugler 1958, p. 211 s.

[181] Nell'ultima parte del problema si torna al movimento dei cerchi esemplificato dalla ruota del vasaio e dalle pulegge (cfr. 851 b 19-21), e si rinvia a quanto già detto (848 b 9 ss.): un oggetto che si muove in un cerchio ha due movimenti; il rinvio viene giudicato 'irrilevante' da Heath (1998, p. 240).

Apelt segnala in apparato la correzione del Par. A: ἔχοντες, invece ἔχοντα di (l. 5); Bussemaker scrive ἔχοντες.

[182] La questione sviluppa un aspetto dell'argomentazione precedente (851 b 25 ss.; 852 a 1 ss.), connesso con la *rhope* del cerchio e degli oggetti messi in movimento, rifacendosi più generalmente alla proprietà del cerchio, più volte richiamata: in un raggio, è più veloce il punto più lontano dal centro. Si tratta del principio del 'raggio maggiore': all'estremità del raggio la velocità del moto è maggiore rispetto ai suoi punti più vicini al centro.

[183] Si fa l'esempio di due strumenti allora molto usati per sollevare e spostare pesi.

Il termine τροχιλέα (cfr. 851 b 19; 852 a 5; in 853 a 32, a 39, b 7 è attestata anche la *v. l.* τροχιλαία; τροχαλία si legge in 853 a 36; b 2: sono varie le forme di questo vocabolo, nei diversi autori) ricorre solo qui nel *C. A.* Cfr. Ippocrate, *Articolazioni* 43, IV p. 186 L.; Aristofane, *Lisistrata* 722; Platone, *Repubblica* III 397 a; Teofrasto, *Ricerche sulla piante* IV 3, 5; Plutarco, *Vita di Eumene* 11, 7 (590 a-b).

Il termine σκυτάλη (cfr. 852 a 29, 31, 34, dove forse è da scrivere σκυταλῶν, a meno di non supporre l'uso del neutro σκύταλον, vd. Bonitz 1961, p. 686 b 3-5) designa di per sé un bastone; a Sparta, su

un bastone, su una *skytale*, venivano avvolte strisce con i messaggi, che si potevano poi leggere, da parte del destinatario, solo se esse erano riavvolte su bastoni uguali. I commentatori rinascimentali della *Meccanica* hanno in genere raffigurato questo rullo come un cilindro con margini prominenti, quasi due ruote del tutto solidali con esso e che girano contemporaneamente a esso (Biancani, p. 173: «conijcere licet scytalam fuisse lignum oblongum, & teres, sive ut Geometrae dicunt, Cylindrum; in cuius tamen extremitatibus essent margines duo aliquantulum prominentes, ceu binae rotae, cum ipso tamen continuae, & connexae, ut cum ipso simul convolverentur»). Guevara rappresenta invece a una estremità un *manubrium* (p. 141).

[184] Vd. la prima questione posta nel passo 848 b 1 ss. (in particolare 849 b 21 ss.).

Questo problema è stato da alcuni commentatori rinascimentali analizzato alla luce del trattato *De trochlea* di Guidobaldo del Monte, che ha tuttavia un'impostazione diversa. Ciò che viene sostenuto qui è stato giudicato pertanto non vero o parzialmente non vero (vd. le osservazioni di Biancani, p. 172 s.; Baldi, pp. 76-82; osservazioni criticate da Guevara, che pure ammette la difficoltà della questione, su cui discute a lungo, vd. pp. 139-143). Il ragionamento deduttivo è certo prevalente come altrove; ciò che diminuisce lo sforzo da esercitare sono le pulegge multiple, non quelle di maggiore diametro, come l'autore sa bene (vd. il problema n. 18, 853 a 32 ss.). Inoltre, i concetti di 'facilità' e di 'velocità' qui si sovrappongono; alla maggiore velocità, connessa con il principio del raggio maggiore, viene fatta corrispondere la facilità (vd. anche il problema n. 12): se lo stesso peso (l. 18) è posto su un rullo più grande e su uno più piccolo, quello più grande funzionerà più velocemente.

[185] Seguo qui l'emendamento proposto da Cappelle e accolto da Apelt e da altri editori. Cappelle nota che sarebbe stato sufficiente mettere a confronto il pesante e il leggero, senza aggiungere la qualificazione di 'grande' e di 'piccolo', dato che è stato dimostrato che sono proprio le bilance e le ruote grandi a muoversi più facilmente delle piccole. Avanza l'ipotesi secondo cui l'aggiunta avrebbe lo scopo di suscitare nei lettori «majorem [...] mirationem» (p. 230); subito dopo si sofferma tuttavia sul grave errore commesso da Aristotele nel riferire la causa della maggiore difficoltà di movimento alla *gravitas* invece che all'attrito (p. 230 s.), come mette in evidenza anche Heath (1998, p. 240).

Si può pensare anche a un guasto più ampio nella tradizione (ciò che anche Cappelle sembra aver sospettato), considerando qualche significativa oscillazione. Gohlke integra <ἄλλοθι δὲ τοιοῦτο> dopo ἄλλο τοιοῦτο di l. 24 (si tratterebbe di un'omissione per omoteleuto) e traduce: «<während sonst> das Schwerere sich leichter bewegt,

wenn es größer ist, im Vergleich zum kleineren und leichteren» (vd. pp. 9 e 38). È inoltre probabile che una glossa sia finita nel testo, dopo ἄλλο τοιοῦτο di l. 24, e che la linea debba essere espunta; anche se, all'interno di questo tipo di argomentazione in cui si procede in modo piuttosto estemporaneo, non è escluso che nelle due coppie di opposti pesante e grande, piccolo e leggero operino associazioni di qualità, non in stretta relazione con la linea argomentativa principale.

[186] Cfr. 8, 851 b 32 s.; 31, 858 a 3 ss. Anche questo problema è stato giudicato in età rinascimentale tenendo conto degli studi di Guidobaldo del Monte sulla bilancia, in cui tuttavia prevale il punto di vista statico (vd. Biancani p. 173 s.). Ciò che la maggior parte dei commentatori ha messo in evidenza è la contraddizione con quanto viene affermato nella questione precedente, contraddizione cui si è cercato di ovviare, supponendo materiali diversi (di legno o di metallo, rispettivamente più leggeri e più pesanti, vd. anche lo scolio a 852 a 23, in Bottecchia 1982, p. 149 s.) per bilance e ruote.

Un'altra difficoltà interpretativa offre l'espressione εἰς τοὐναντίον di l. 26; si può essere incerti, se essa significhi: 'in direzione contraria alla sua inclinazione' (vd. l. 27; 851 b 33), oppure 'in avanti'. 'Al contrario', cioè 'in alto', intendono i commentatori rinascimentali (vd. anche lo scolio appena ricordato); Piccolomini parafrasa: «Forse che le cose gravi non solo si muoveno difficilmente al contrario, cioè all'in su, essendo cotal modo opposto alla natura loro, ma tal difficultà gli avviene ancora nel movimento obliquo, perché ne anco quello gli è naturale, essendo le cose gravi inclinate, e pronte a calar a basso» (trad. di Biringucci, p. 60). Similmente, Biancani: «Habet haec quaestio tres partes, quibus Arist. respondet dicens, quod grave est aegre moveri non solum contra nutum suum, id est sursum, sed etiam in obliquum, seu ad latera, quia gravia deorsum nutant, non sursum, nec in trasversum: ideo librae cum onere, quia sunt graviores, & rota ferrea quam lignea, & ferrea etiam maior, quam minor gravior est, ideo difficilius agitatur», p. 173). L'unica direzione che consente un facile movimento è quella nel senso dell'inclinazione naturale, come l'autore ha più volte sottolineato.

A l. 27, l'infinito κινῆσαι ha creato qualche difficoltà; Bekker in apparato si domanda se non sia da scrivere κινεῖται; Forster (1913) legge κινήσει.

[187] L'opposizione grande/ piccolo viene più volte considerata, ed è anche diversamente funzionale nella dimostrazione, come si è visto; al diverso e più efficace effetto del trasposto su rulli, di diametro più piccolo, rispetto al trasporto su carri con grandi ruote, apparentemente in contraddizione con quanto affermato nel problema n. 9 (852 a 14 ss.), si attribuisce ora una causa fisica ben precisa, l'attrito. Si constata come l'argomentazione vada avanti con aggiunte e preci-

sazioni: le singole questioni vengono continuamente ridefinite e riproposte avendo punti di riferimento diversi: di volta in volta prevalgono, o si alternano, considerazioni più generiche (basate essenzialmente sulle qualità) o più precise; l'impostazione può essere geometrica o fisica, oppure geometrica e fisica insieme.

[188] Il sostantivo πρόσκοψις (*nomen actionis*) compare solo qui nel *C. A.*; subito dopo si ha il verbo *proskoptein*. In precedenza l'autore è ricorso all'infinito sostantivato (851 b 23). Il verbo *proskoptein* 'urtare' è significativamente usato in contesti in cui si parla di movimento, vd. in particolare Aristotele, *Moto d. an*. 6, 700 b 13; *Locomozione d. an*. 16, 713 b 9; *Suoni* 802 a 27; a 42 (cfr. 801 a 14); *Problemi* V 17, 882 b 18 s.; XI 45, 904 a 33 s.; cfr. *Generazione e corruzione* I 8, 326 a 27. L'uso di un altro verbo, *proskrouein* (852 a 7), 'battere, urtare contro', trova un significativo confronto con un passo dei *Problemi* XVI 4, 913 b 10; altrove nel *C. A.* ha invece il valore di 'venire a contrasto', 'diventare nemico', vd. *Politica* II 5, 1263 a 18; 20; *Etica Nicomachea* IX 4, 1166 a 6. Nelle *Parti d. an*. II 13, 658 a 7 è usato il sostantivo *proskrousma* per indicare un 'corpo che urta', 'che dà fastidio'.

Può sorprendere che si parli di mancanza di attrito, nel caso dei rulli: l'autore tiene maggiormente presente, nell'argomentare, l'urto con l'asse e la pressione esercitata su di esso.

[189] 'Mentre si muove': è più facile muovere ciò che è già in movimento; l'essere già in movimento facilita lo spostamento, come si dice più volte (852 a 11; b 3; b 6; 853 a 24 s.; 858 a 3 ss.).

Anche in questo caso, mentre Piccolomini è incline a seguire e ad approvare il ragionamento dell'autore, Biancani è molto più critico: qui, non soddisfatto dalla spiegazione, avanza l'ipotesi che la vera causa di ciò che si sostiene vada individuata nella solidità dei rulli («Crediderim ego facilius portari magna onera per scytalas, propter ipsarum firmitatem, currus enim ipsorumque rotae sunt multo debiliores, neque maioribus oneribus sufficiunt», p. 174). Baldi approva la risposta dell'autore (osserva tuttavia di meravigliarsi del fatto che non si parli affatto di attrito nella questione n. 9), e disegna «rotatas scytalas» («coniunctas autem esse rotas ipsis scytalis est intelligendum, nempe, ut simul rotae cum scytalis convertantur», p. 85). Guevara (pp. 147-149) precisa che le *scytalae* di cui qui si parla non sono dello stesso tipo di quelle che egli ha descritto, commentando il problema nono (vd. la nota 183).

[190] Una questione simile, ma affrontata dal punto di vista fisiologico-meccanico e con l'intento di valutare il diverso sforzo richiesto nel lancio a vuoto e nel lancio di un oggetto, è posta nei *Problemi* V 8, 881 a 39-b 6 («Perché è più faticoso per il braccio fare a mani vuote il gesto di scagliare che scagliare una pietra?», ll. a 39-b 1). Nei

Problemi, sono in genere numerose le osservazioni sulle caratteristiche, sui movimenti, normali e patologici, sui gesti, sulle capacità della mano, su come l'uomo se ne serve e su ciò che essa significa per il suo sviluppo tecnico e intellettivo. Organo del tatto, per eccellenza, la mano è considerata lo strumento dato al corpo, come all'anima è stato dato l'intelletto: entrambi hanno bisogno di tempo, seppure in misura diversa, per acquisire perfezione e padronanza delle rispettive potenzialità. L'essere più intelligente sa utilizzare bene il numero maggiore di strumenti, e la mano non è uno, ma più strumenti, perché serve per utilizzarne altri. La natura, nella sua saggezza, dà a ogni essere gli strumenti di cui possa servirsi; così l'uomo ha le mani, perché è l'animale più intelligente: Aristotele fa quest'ultima affermazione in polemica con Anassagora. Vd. *Parti d. an*. IV 10, 687 a 6 ss.; *Anima* III 8, 432 a 1 s.; *Problemi* XXX 5, 955 b 22-956 a 10. Si può ricordare lo stretto collegamento che la scienza moderna individua tra lo sviluppo del cervello e lo sviluppo della mano, nella specie umana.

[191] Vd. la nota 189. Il nesso preposizionale ἐν τῇ σφενδόνῃ (l. 3) indica non tanto che il movimento avviene 'nella fionda', quanto che chi lancia sfrutta il suo movimento. Cfr. *Suoni* 800 b 13.

Sulla questione si sofferma Benedetti, che argomenta in base al concetto di *impetus* (p. 160 s.); cfr. Vilain 2008, pp. 150 s.; 167 ss.

[192] Baldi osserva che nel lancio con la fionda il centro del movimento non è propriamente la mano, «sed potius partem illam brachij, quae humero iungitur, & ideo motum eo fieri velociorem, quo longior est linea quae ab humero ad summitatem fundae est, ea quae ab humero ad manum ipsam» (p. 89).

Si insiste sui motivi che rendono il quesito ancora più sorprendente: la curiosità è accresciuta dal fatto che, in base ad alcune considerazioni che si ricollegano a osservazioni già fatte (vd. 847 b 11-15; 850 a 30-33: la leva, che comporta essa stessa un peso, aiuta a sollevare pesi), non ci si aspetterebbe un lancio più efficace con la fionda. La risposta è duplice: nella prima vale il principio della maggiore facilità, per un corpo già in movimento, di spostarsi (cfr. 858 a 3 ss.); nella seconda, che non esclude, ma integra la prima, interviene l'analogia: l'impostazione diventa geometrica, con il riferimento alle proprietà del cerchio e al principio del 'raggio maggiore'. Con questa seconda risposta, commenta Longo «emerge l'ipotesi classica dei *Mechanikà*, in virtù della quale la velocità del moto (impresso) aumenta all'aumentare del raggio. La fionda offre un raggio maggiore di quello del semplice braccio umano, di cui costituisce un 'prolungamento', e dunque imprime maggiore velocità, e maggiore efficacia, al proietto scagliato. Si noterà come questa ipotesi presentata come *complementare* rispetto alla prima, preveda invece quella rotazione

preliminare del braccio (raggio del cerchio) intorno all'articolazione dell'omero alla spalla (centro del cerchio) che [...] appariva esclusiva» nella precedente motivazione; Longo constata anche «la compresenza, se non la complementarità, di due spiegazioni di cui la prima [...] ha carattere decisamente 'fisico', cinetico, mentre la seconda [...] è articolata su un principio 'geometrico', quello appunto onnipresente nel trattato, della "leva" come raggio di un cerchio» (2003, p. 77 s.)

[193] Il sostantivo κόλλοπες può essere reso così per estensione: l'antichità non conosce quello che noi chiamiamo *manovella*, ma solo delle leve disposte a raggio. Il termine *kollops* è tecnico in ambito musicale, e indica la 'chiave', il 'pirolo' di uno strumento a corde. Nel *C. A*. ricorre solo qui e nella l. 18.

[194] Anche il termine ζυγόν 'giogo' ha un valore tecnico in ambito musicale e indica la 'sbarra' di congiunzione, il 'ponticello', la 'traversa' della lira (cfr. *Suoni* 803 a 40); Krafft lo traduce qui «Steg einer Leier» (1970, p. 42). In questo problema, lo intendo nel senso di 'asse', 'perno', dell'argano: si tratta del cilindro centrale di legno (852 b 13 s.; 20), e rappresenta il 'collegamento', il 'centro' che, nelle varie macchine descritte, è geometricamente associato a un punto o a una linea retta.

La terminologia di questo passo è molto discussa dai commentatori rinascimentali (il nome dell'argano, *onos* 'asino', stimola fantasiosi collegamenti), che propongono illustrazioni come integrazione, secondo una costante abitudine. Così spiega Piccolomini, commentando la propria illustrazione: «Il giogo significa molte cose, ma per quanto appartiene alla presente questione, è un instrumento di legno oblongo e rotondo, nel quale i tessitori con l'aiuto dei collopi che vulgarmente si chiamano stanghette, avvolgono le lor tele. Sono le stanghette legni assai sottili, dai quali, come da lieve, tal giogo trapassato si raggira e si volge; come può chiaro apparire in questa figura. Nella quale il giogo è l'AB. le stanghette sono le DF. &. HG. i fori per i quali esse stanghette trapassano il giogo sono C.& E.» (trad. di Biringucci, p. 63, vd. Fig. 13).

Le possibili equivalenze del termine ζυγόν con vocaboli sia latini (ζυγόν / *ergata*; ὄνος / *sucula*) sia delle lingue moderne sono ampiamente illustrate da Cappelle (pp. 234-236). Cfr. Vitruvio, *Architettura* X 1, 5; 2, 2-5 e 7; 3, 2; 10, 3; 11, 1: «Alcune baliste vengono messe in tensione per mezzo di leve e argani – *suculis*, qualcuna mediante carrucole a più pulegge, altre con l'aiuto di cabestani – *ergatis*, altre ancora con sistemi a tamburo».

[195] Cappelle, in apparato (p. 53) suggerisce che bisognerebbe forse leggere: καὶ ὡσαύτως ὄνοι οἱ λεπτότεροι. L'emendamento è accolto da Forster (1913), che precisa in nota alla propria traduzione

(«similarly lighter windlasses are moved more easily by the same force than stouter windlasses»): *lighter* «i. e. lighter *and broader*»; *stouter* «i. e. stouter *and narrower*».

Il miglior funzionamento deriva dalla maggiore lunghezza della parte che sporge. Spiega Piccolomini: «quanto più lunghe saran le linee procedenti dal centro, tanto più facilmente si gireranno attorno [...] & essendo la succola sottile vengono da quella come da centro ad esser più distanti, seguita che quanto più sottile sarà la succula, più facilmente si possa girare, perciò che questa è la cagione che minor parte delle lieve s'asconde dentro a lei, e che le parti o estremità d'esse lieve, son più distanti dal centro» (trad. di Biringucci, p. 65). Vd. anche Baldi, p. 90 («In gracilioribus vero suculis datâ collopum paritate plus esse id quod a ligno distat»); Cappelle p. 236 (nella traduzione, p. 53, oppone le *suculae tenuiores* alle *crassiores*).

[196] Che la forza debba essere la stessa, perché il ragionamento sia valido, è stato detto più volte, senza tuttavia precisare di quale forza si tratti; qui, il contesto presuppone ovviamente che sia quella dell'uomo che aziona l'argano. L'uso dell'avverbio πλέον potrebbe far pensare che unitamente alla notazione della velocità, del tempo (θᾶττον) si voglia introdurre quella dello spazio; in questo caso sembra tuttavia che esso serva solo a riprendere il valore dell'altro avverbio, connotando forse la facilità con cui il movimento avviene.

Vailati si sofferma sulla parola «θᾶττον, il cui significato proprio sarebbe "più velocemente"», ma che viene impiegata anche «per indicare le altre idee affatto diverse: con maggior facilità, con minor fatica», senza che risulti sempre chiaro dal contesto in quale dei due sensi essa vada intesa (1897, p. 947).

[197] Cfr. l. 14 s.

[198] L'oscillazione della tradizione in questa linea (τὸ – ξύλον) ha comportato qualche dubbio negli editori; Apelt, in apparato, suggerisce che sarebbe forse da leggere col Par. B: τὸ αὐτὸ μέγεθος ξύλου (così, anche Forster 1913). Si può tuttavia mantenere la vulgata, intendendo μέγεθος come accusativo di relazione (Cappelle nel commento, p. 236, sottintende κατά).

Erone discute lo stesso problema, vd. *Meccanica* II 34 g.

Galileo vi fa riferimento nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Mecanica & i Movimenti locali*: «Quello che ricerca più sottile specolazione è quando, astraendo dalla gravità propria di tali solidi, ci fusse proposto di dovere investigare se quella forza o peso che, applicato al mezo d'un clindro sostenuto nelle estremità, basterebbe a romperlo, potrebbe far l'istesso effetto applicato in qualsivoglia altro luogo, più vicino all'una che all'altra estremità: come, per esempio, se volendo noi rompere una mazza, presola con le mani nell'estremità ed appuntato il ginocchio

in mezo, l'istessa forza che basterebbe usare per romperla in tal modo, basterebbe ancora quando il ginocchio si puntasse non nel mezzo, ma più vicino all'un de gli estremi.

– Sagr. Parmi che 'l problema sia toccato da Aristotele nelle sue Questioni Mecaniche.

– Salv. Il quesito d'Aristotele non è precisamente l'istesso, perché ei non cerca altro, se non di render la ragione perché manco fatica si ricerchi a romperlo tenendo le mani nell'estremità del legno, cioè remote assai dal ginocchio, che se le tenessimo vicine: e ne rende una ragione generale, riducendo la causa alle leve più lunghe, quando s'allargano le braccia afferrando l'estremità. Il nostro quesito aggiugne qualche cosa di più, ricercando se, posto il ginocchio nel mezo o in altro luogo, tenendo pur le mani sempre nell'estremità, la medesima forza serva in tutti i siti» (Giornata seconda, ed. Favaro, vol. VIII, p. 173 s.).

[199] Cfr. *Problemi* V 20, 882 b 37-883 a 2; *Suoni* 803 a 32 ss. Il principio interpretativo viene ora applicato a un'esperienza comune (cfr. problemi n. 16, 26, 27, 29, 30). Monantheuil amplia il quesito, proponendo una spiegazione geometrica del perché ciò non danneggi il ginocchio (p. 122).

Heath fa notare che il ginocchio è veramente il fulcro, quando il pezzo di legno viene spezzato contro di esso; mentre, nel secondo caso, viene ripetuto l'errore di considerare una leva di primo genere, in cui il fulcro è tra il punto di applicazione della forza e il 'peso', invece che di secondo, in cui il fulcro è a un'estremità, cioè nel terreno, nel caso esaminato (1998, p. 240 s.).

[200] Con un significato diverso, il termine κρόκη è utilizzato da Aristotele nella *Politica* (II 6, 1265 b 20) e nelle *Ricerche s. an.* (IX 39, 623 a 11): comunemente esso indica il 'filo della trama'. La determinazione *ho kaloumenos* è molto ricorrente anche nei *Problemi* insieme con sostantivi di uso comune (vd. per es. IV 24, 879 a 23; X 27, 893 b 32; b 38; XX 7, 923 a 31 s.; XXV 2, 937 b 39; XXXVIII 7, 967 a 27); la stessa formula è spesso utilizzata quando Aristotele vuole precisare l'accezione di un termine, ben consapevole dell'importanza che lo stabilire 'in che senso' qualcosa si dica, o debba intendersi, abbia per un corretto sviluppo del discorso, dato che molti termini possono dirsi *pollachos*.

Biancani, sempre molto critico nei confronti di Piccolomini, precisa che contrariamente a quanto da lui sostenuto esiste un corrispettivo latino di *krokai*, cioè *umbilici* (p. 176; cfr. Monantheuil, p. 123; Cappelle, p. 236); Baldi invece richiama il latino *glareae* come equivalente di *krokai* (p. 93): il suo commento è interessante per le considerazioni che egli estende al lavoro di scultori e architetti, antichi e del suo tempo, quando vogliono ottenere forme rotonde.

In una questione precedente (8, 851 b 15 ss.), le figure tondeggianti e circolari sono state prese in considerazione per la loro facilità di movimento. Qui si parla di come si formino in natura i ciottoli tondeggianti: questo è l'unico problema in cui 'artefice' è la natura; il suo operare viene in ogni caso osservato e interpretato attraverso i principi enucleati e applicati al funzionamento delle 'macchine'.

[201] In questa espressione, che insiste ripetutamente sulla pari entità del fattore agente, ricorrono generalmente i termini *ischys* e *baros*. È significativo notare ora la presenza del termine *kinesis*, sentito come equivalente degli altri due; o meglio 'la forza' e 'il peso' sono associati al concetto di ciò che mette in 'movimento', al fattore, animato o inanimato, che lo determina.

[202] Per questa 'misura' o valutazione comparativa della velocità, vd. le note 41 e 52. Alla velocità possono associarsi, come si è visto, facilità ed efficacia.

[203] Cfr. 858 a 25 s. L'azione di spinta e controspinta, colpo e contraccolpo, resistenza, è frequentemente descritta nel *C. A.*, vd. per es. *Meteorologia* II 8, 368 a 18; IV 9, 386 a 33-b 1 (si distingue *osis* da *plege*); *Riproduzione d. an.* IV 3, 768 b 18-20; *Fisica* IV 8, 215 a 14-17; VII 2, 244 a 7 s. (definizione di *osis*); *Respirazione* 20, 480 a 13 s. Nei *Problemi* è interessante tra gli altri, per un confronto, questo passo: «Perché il colpo di ferula è più doloroso del colpo inferto da altri oggetti più duri, se si considera in proporzione l'effetto prodotto colpendo? Sarebbe più logico che il colpo dell'oggetto duro fosse più doloroso, perché è più forte. Forse perché la carne è indolenzita non solo per il colpo ricevuto, ma anche per quello restituito? Ora, quando l'oggetto è duro essa ne subisce solamente il colpo, cedendo alla sua durezza; nel caso del colpo di ferula, invece, l'effetto è duplice: la carne è colpita e colpisce a sua volta perché non cede, dato che il peso della ferula è poco; così il colpo è doppio» (IX 8, 890 a 37-b 6; cfr. XI 29, 902 b 13-15). Per il concetto di *antiperistasis*, ricorrente nei *Problemi*, vd. Ferrini 2002, pp. XXIII; 589 e *passim*.

[204] Il confronto con i passi dei *Problemi* ricordati a proposito della questione n. 8 (vd. la nota 173) mette in evidenza la diversa impostazione delle due opere: nei *Problemi* è unicamente il movimento del mare che, rompendo tutt'attorno in modo uniforme conchiglie e pietre, determina una forma regolare (XXIII 36, 935 a 37-b 2). Nella *Meccanica* si sovrappongono o si alternano spiegazioni di carattere fisico ad altre di carattere prettamente geometrico, come si è detto; in questo caso, la spiegazione geometrica è del tutto prevalente: secondo il principio del raggio maggiore, le parti estreme sono più veloci di quelle vicino al centro. In questo modo la forza e l'urto si concentrano sulla superficie del ciottolo, cosa che sarebbe di per sé evidente, senza ricorrere a quel principio; «sono infatti le parti più esterne

del ciottolo […] a cozzare con maggiore velocità (cioè con maggior forza) con gli altri ciottoli, o eventualmente con gli scogli, nel moto di rotolamento impresso ad essi dal mare. Una raffinatezza, se vogliamo, ma anche un eccesso di geometrizzazione, che non tiene conto del fatto, assai più banale, e la cui constatazione non richiede una scienza particolare, che di qualsiasi corpo sono le parti superficiali quelle più esposte agli urti, e dunque maggiormente soggette a corrosione o a levigatura. In altri termini, una forza esterna agisce su di un corpo con effetti progressivamente decrescenti via via che ci si allontana dalla superficie; ma questo non accade in virtù del principio della leva (o dei "raggi maggiori", per dirla col nostro autore), neppure se la levigatura è effetto in prevalenza del rotolamento» (Longo 2003, p. 67 s.).

[205] Gran parte delle domande è strutturata intorno a coppie di opposti. Il ragionamento polare mantiene tutta la sua efficacia euristica anche in questo trattatto.

Il tema della flessibilità del legno è tratto dall'esperienza comune. Vd. anche Erone, *Meccanica* II 34 h.

Nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Mecanica & i Movimenti locali*, Galileo si riferisce a questo problema: «– Simp. Ora mi fate sovvenire non so che, posto da Aristotele tra le sue Quistioni Mecaniche, mentre vuol render la ragione onde avvenga che i legni, quanto più son lunghi, tanto più son deboli e più si piegano, ben che i più corti sieno più sottili, e i lunghi più grossi; e se io ben mi ricordo, ne riduce la ragione alla semplice leva.

– Salv. È verissimo: e perché la soluzione non par che tolga interamente la ragion del dubitare, Monsig. di Guevara, il quale veramente con i suoi dottissimi comentarii ha altamente nobilitata e illustrata quell'opera, si estende con altre più acute specolazioni per sciorre tutte le difficoltà, restando però esso ancora perplesso in questo punto, se crescendosi con la medesima proporzione le lunghezze e le grossezze di tali solide figure, si deva mantenere l'istesso tenore nelle loro robustezze e resistenze nell'esser rotte ed anco nel piegarsi. Io, dopo un lungo pensarvi, ho in questa materia ritrovato quello che seguentemente son per apportarvi» (Giornata seconda, ed. Favaro, vol. VIII, p. 165).

[206] Il passaggio alla dimostrazione è diretto e immediato: la lunghezza 'diventa', quasi si trasforma in leva, e l'oggetto è assimilato a una 'macchina'; in tutta la sua lunghezza si individuano parti e punti diversi, e con diversa funzione.

Partendo da una breve esposizione di questo problema, così come visto e risolto da Aristotele «ex suis principijs», Baldi aggiunge proprie considerazioni, esaminando tecniche di costruzione e materiali

diversi, e sviluppando una ricca *exercitatio* (pp. 95-114): è uno dei tanti esempi di come si sia articolata ed espressa l'influenza di questo trattato, nel tempo.

[207] Sul significato del verbo αἴρεσθαι (cfr. problema 22, 854 b 5, e la nota 243) Cappelle richiama molto opportunamente l'attenzione, in quanto bisogna considerare il diverso movimento, di minima elevazione o piuttosto di abbassamento, e di innalzamento, degli *akra* del legno e della leva, che pure sono assimilati («Tenendum scilicet Aristoteli proprium esse verbum αἴρεσθαι *elevari* ad motum oneris in vecte indicandum, etiamsi caeteroquin nulla vera *elevatio*, sed potius contrarius motus, locum habeat», p. 237). Traduce così le linee 14-16: «Itaque necessario vectis extrema *elevantur*. Si igitur inflexus vectis fuerit, necesse est illum magis etiam inflecti, si *tollatur*» (p. 60: il corsivo è mio; nelle traduzioni latine si ricorre in genere a un'alternanza simile dei verbi, senza molta coerenza, tuttavia). Forster, che approva l'osservazione di Cappelle, interpreta: «Therefore the ends of the lever must be subject to pressure. If, then, the lever is bent, it must bend more when it is lifted up». Anche Heath fa riferimento a Cappelle, sottolineando che in realtà le estremità del legno si piegano verso il basso; con qualche dubbio suggerisce di tradurre «are suspended» o «hang suspended» (1998, p. 241). Considerando tre modi con cui un pezzo di legno può essere alzato (con la mano, tenendolo nel mezzo; con la mano, che tiene e alza solo un'estremità; con la mano di due persone, che lo alzano alle due estremità), l'autore descrive probabilmente il primo caso. Si sovrappongono pertanto le nozioni di 'essere sollevato', 'essere preso' e 'essere tenuto alzato da terra'; a queste azioni si associa l'*inarcarsi* delle estremità.

[208] Leonico Tomeo traduce: «uterque autem et pondus habet et hypomochlion»; Sylburg suppone pertanto che egli legga τε ... τε invece di μὲν ... δὲ (p. 302).

[209] Il movimento (il termine *phora* connota significativamente lo spostamento) che si fa quando si colpisce diventa una forza aggiuntiva (vd. anche il problema seguente). Monantheuil commenta: «Secunda est causa ad solutionem problematis, quod cuneus adigatur non simplici pulsu sed percussu, qui vehemens & celer est motus: iam motum autem movendum vehementius movet» (p. 128).

«Della forza della percossa» trattano *Le Mecaniche* di Galileo, vd. ed. Gatto 2002, pp. 20 s. (versione breve); 76 s. (versione lunga: «L'investigar qual sia la causa della forza della percossa è per più cagioni grandemente necessario. E prima, perché in essa apparisce assai più del maraviglioso di quello, che in qualunque altro strumento meccanico si scorga [...] Perché ad Aristotile o ad altri che volessero la cagione di questo mirabile effetto ridurre alla lieva o lunghezza del manubrio o manico del martello, parmi che, senza altro lungo di-

scorso, si possa scoprire l'infermità de' lor pensieri dall'effetto di quei strumenti, che, non avendo manico, percotono o col cadere da alto a basso, o coll'esser spinti con velocità per traverso [...]»). Vd. anche nell'ed. di Favaro, vol. VIII, pp. 319-346.

Meccanismi ed effetti della *plege* sono più volte considerati nel *C. A*. Particolarmente interessante, la correlazione stabilita tra la produzione di suoni e rumori e l'urto, nel trattato sui *Suoni*, già nell'esordio: in tutta la restante argomentazione, forza, intensità e altre caratteristiche della *plege* spiegano qualità e differenze delle voci e dei suoni prodotti. Nei *Problemi* una sezione, la nona, è dedicata alle conseguenze dei colpi inferti sul corpo e ai rimedi; in tutta l'opera sono d'altra parte numerosi i riferimenti ai vari effetti dell'impatto dell'aria sul corpo, sulla produzione e qualità dei suoni (il suono è correlato anche in quest'opera a un urto), sulla trasmissione del movimento, vd. per es. V 37, 884 b 22 ss.; VII 5, 886 b 9 ss.; XI 9, 900 a 2 s.; 19, 901 a 15 ss.; 42, 904 a 8 ss.; XXIII 2, 931 b 1 s.; 33, 953 a 13 ss.; XXIV 9, 936 b 38 s. (la *plege* è distinta da *osis*, cfr. il passo della *Meteorologia* ricordato nella nota 203); XXXII 13, 961 b 3 s.

[210] Cfr. 852 a 11; b 3; b 6; 858 a 3 ss.; e le note 178; 189; 191.

[211] Pregnante è qui l'uso del verbo λανθάνειν che ha sia il senso di 'sfuggire alla vista, all'attenzione', dato che il movimento del cuneo, che è piccolo, è di per sé piccolo, sia il risultato inatteso, quasi contrario all'attesa: nella realtà si determina un movimento ben più consistente ed efficace.

[212] Vd. Fig. 14.

[213] Cappelle scrive ζ seguendo il Par. A; così anche Bussemaker. Apelt segnala questa lezione in apparato, e stampa il testo vulgato ZΔ, come la maggior parte degli editori. Così fa anche Bottecchia nell'edizione del 1982; mentre scrive ZH nell'edizione del 2000, emendamento che dà certo un testo migliore rispetto alla vulgata ZΔ. I fulcri in realtà sono due (Z e H), dato che due sono anche le leve; d'altra parte, l'autore sta qui indicando una delle due (AB), il cui fulcro è Z, anche se ciò non impedirebbe di per sé che possa essere stato nominato anche l'altro fulcro. Un altro motivo di incertezza si aggiunge, dato che l'autore non spiega in quale punto di ciascuna leva agisca la forza. Monantheuil assegna lettere diverse ai due fulcri (μ e ν) e indica con sole tre lettere il corpo su cui agisce il cuneo (δ η ζ : così anche in altre edizioni, compresa quella di Sylburg): τὸ δὲ σφηνούμενον δ η ζ [...] ὑπομόχλιον δὲ τὸ μ ν (p. 130).

[214] Cfr. l. 22; Krafft spiega: «Scheinbar öffnet sich der Winkel des Keiles bei B weiter, weil die Unterlagen für die Hebel als feststehend gelten» (1970, p. 43).

Monantheuil, dopo aver illustrato e ampliato il problema (nell'ampliamento, usa quattro lettere, D E F G, per indicare il corpo su

cui agisce il cuneo, vd. nota precedente), passa ad un approfondimento, introducendo l'argomentazione di Guidobaldo del Monte («Atque haec est sententia Aristotelis de duplici vecte in cuneo. Aliam habet Guidus Ubaldus, quam existimat meliorem», p. 131). Anche Biancani, notando che l'esposizione di Aristotele è condizionata dal fatto che egli conosce solo una leva di primo genere, rinvia a Guidobaldo («Verum satius est cum Guido Ubaldo reducere cuneum ad duos secundi generis vectes, quorum fultura sit in cunei apice extremo, pondus vero intra vectem, ea nimirum pars ligni, quae a cuneo urgetur, ac divellitur», p. 177; cfr. Heath 1998, p. 242). Baldi introduce la propria *exercitatio* (pp. 114-121) riformulando icasticamente l'opposizione che struttura il quesito aristotelico: «In parva re magnum negotium»; molti grandi ingegni si sono occupati, aggiunge subito dopo, della questione: Aristotele tra gli antichi, Guidobaldo tra i moderni.

Nel commento di Cappelle si riflette una disputa tra i *Physici* del suo tempo: a quale *instrumentum* vada ricondotto il cuneo, se alla leva, come ha fatto Aristotele, oppure al piano inclinato. Conclude approvando Aristotele per aver posto «maximam cunei vim in percussione» (p. 238).

[215] Cfr. il problema nono; in particolare 852 a 15 s., e la nota 184. Molte ed elaborate ricostruzioni e diverse identificazioni del congegno sono state proposte fin dal Cinquecento; alcune di esse riflettono meccanismi del tempo più che dell'antichità, oppure sono state avanzate tenendo conto dell'argomentazione di Vitruvio (vd. per es. *Architettura* X 2, 1-2; e la nota 219).

Il testo non è chiaro nei dettagli, come spesso accade nei trattati minori del *C. A.*, che assomigliano piuttosto ad appunti e presuppongono un uditorio informato; tuttavia il senso generale è sufficientemente chiaro. La figura (Fig. 15) mostra schematicamente come funziona il sistema con due pulegge opposte l'una all'altra, secondo l'interpretazione di Heath. *A* rappresenta il blocco, fisso, cui è attacata la puleggia superiore; *B* il blocco libero a cui si attacca quella inferiore; *W* è il peso da sollevare; *C* il punto in cui è applicata la corda. «If the pulleys are equal, so that all the portions of the rope passing from one block to the other are vertical, the tension of the rope is the same thoughout. *B* is supported by two parallel ropes at tension *P*; therefore in the case taken *P*=1/2 *W*» (1998, p. 242).

Nelle fonti antiche, scritte e iconografiche, sono documentate sia la disposizione verticale sia quella orizzontale; cfr. Erone, *Meccanica* II 3.

I termini καλῴδιον (853 a 34; 36; b 7: propriamente 'cordicella') e ἄρτημα (853 a 34; b 25: 'oggetto appeso, attaccato') compaiono solo qui nel *C. A.*; con essi vengono indicati la fune di trazione e il suo

capo che viene appeso e attaccato. Più avanti, è usato il termine σχοινίον (853 b 5; da notare anche in questo caso che il suffisso di diminutivo è desemantizzato): ‘corda di giunco’, e per estensione ‘corda’; cfr. *Cose straordinarie* 137, 844 b 5.

Con il sostantivo ξύλα (ll. 32 e 34) ci si riferisce ai blocchi o pezzi di legno, che Cappelle definisce «capsulas, quae singulos orbiculos continent» (p. 240 s.). Così intendono anche Baldi (p. 122) e Guevara (p. 172); altri pensano invece a ‘travi’ di sostegno: Piccolomini le immagina legate tra di loro (ff. XL r. e ss.; diversa e più elaborata è la figura inserita nella traduzione di Biringucci, p. 72). Benedetti descrive un asse fisso e parallelo al piano con le *rotulae* appese (p. 163).

[216] Anche la puleggia viene ricondotta alla leva; il confronto con i risultati che si avrebbero usando semplicemente la mano, ripropone il concetto di utilità della ‘macchina’, sottolineato fin dall'inizio.

Biancani, commentando questo problema (p. 178 s.), osserva che l'assimilazione della puleggia alla leva è vera, pur se solo in parte: «hinc verum dixisse Arist. constat, trochleam scilicet idem esse, ac vectem, quod tamen de solo inferiori orbiculo intelligi debet» (p. 179); vd. anche Baldi: «quod asseruit Aristoteles, Trochleas ad vectem reduci, verum quidem est, sed aptius dixisset ad libram, etenim vectis utcunque a fulcimento dividitur» (p. 123). Cappelle approva l'affermazione aristotelica, aggiungendo che non ha importanza se la «trochlea» sia «immobilis, an mobilis; aliis verbis, utrum sit *rechamus* an *monospastus*» (p. 241).

Krafft (1970, p. 44 ss.) invece considera il raffronto con la leva, così come viene proposto, fuorviante ed erroneo, soffermandosi anche sull'interpretazione di Biancani. Esso si riferirebbe all'effetto apparentemente uguale del risparmio di forza: l'autore d'altra parte non stabilisce qui una precisa equiparazione tra gli elementi della leva e quelli della puleggia, come di solito fa altrove, dove il confronto non si limita all'effetto ma si estende al funzionamento. Anche Heath esamina l'esposizione di Biancani (p. 242 s.); afferma inoltre che il vantaggio meccanico del sistema è correttamente calcolato e formulato da Erone, *Meccanica* II 23; cfr. Pappo, *Collezione* VIII 52 ss., III p. 1114 ss. Hultsch.

[217] Poco prima si è parlato di ‘facilità’, ora di ‘velocità’: questi due parametri di valutazione si integrano molto frequentemente. L'effetto si somma o si potenzia, attraverso un maggior numero di pulegge.

[218] Forster (1913) legge ἑτέρας per αὐτῆς (l. 11).

[219] L'uso del verbo ποιεῖν appare impreciso: probabilmente non si tratta di ‘costruire’ quanto di ‘usare’, ‘impiegare’ un maggior numero di pulegge. La sua interpretazione non è di secondaria importanza nel valutare tutto il problema.

Krafft ritiene che non si debba pensare a un vero e proprio siste-

ma di combinazione di pulegge, dato che la costruzione di paranchi a trazione multipla sarebbe cronologicamente posteriore al periodo in cui questo trattato è stato scritto. L'autore della *Meccanica* vede questo congegno come una «Hintereinanderreihung zweier Rollen», senza distinguere tra puleggia fissa o mobile: la singola puleggia è responsabile del meccanismo. Il riferimento a più di due pulegge sarebbe pertanto soltanto una pura discussione teorica, che diventerà fruttuosa solo più tardi con Archimede (p. 46). Vd. anche Schneider 1989, p. 253 s.; Micheli 1995, pp. 12 s.; 25. Drachmann giudica che la spiegazione data in questo problema non sia teoricamente corretta; ritiene tuttavia che l'autore conosca sia la puleggia semplice sia quella composta: ciò che farebbe supporre per quest'opera una datazione anteriore al 285 a. C. (1963, p. 16).

Come si è accennato, questo problema è stato per lo più letto e interpretato avendo in mente gli sviluppi della meccanica antica e alcuni congegni (il *polyspastos*, il *baroulkos*, il *trispastos*, il *pentaspastos*; vd. Vitruvio, *Architettura* X 2, 10; 11, 1; X 1, 1; X 2, 3; cfr. Erone, *Meccanica* III 1-5), gli studi di Guidobaldo del Monte, gli strumenti utilizzati dagli architetti nel Cinquecento e noti ai commentatori. L'importante riferimento qui ad accorgimenti ed espedienti utilizzati nella costruzione di edifici (e di cui si ha testimonianza nelle iscrizioni, vd. Krafft 1970, p. 47 s.) non comporta necessariamente che l'autore stia descrivendo un preciso congegno; d'altra parte l'intento prevalentemente illustrativo di alcuni principi teorici non esclude di per sé qualsiasi riferimento a un'applicazione, a un esempio pratico.

Ciò che l'autore vuole provare è che con una 'macchina' il 'piccolo' può muovere il 'grande'; questo lo porta a fare un confronto con la leva, di cui si è descritto l'effetto allo stesso modo. Questo effetto si somma o si potenzia nel caso che la corda passi attraverso più pulegge. In confronto al problema nr. 9 (852 a 14 ss.) dove si parla di 'sollevamento o di trazione', qui si insiste sul concetto di trazione; inoltre il riferimento al cerchio è qui solo indiretto (attraverso la leva). Resta in ogni caso operante argomentativamente il principio della macchina semplice.

[220] Si mettono a confronto pesi ed effetti di 'ciò che colpisce' e si muove, e di 'ciò che sta sopra', limitandosi a esercitare una pressione.

[221] Cfr. Aristotele, *Cielo* I 6, 273 b 30-274 a 3; 8, 277 a 14 s.; 32 s. Nella *Meccanica*, si sottolinea spesso che è più facile spostare ciò che è già in movimento: oltre alle leggi della dinamica aristotelica, la generica nozione di 'aggiunta' contribuisce alla formulazione di questo assunto (vd. la nota seguente).

[222] Anche in questo caso si tratta di una combinazione nel senso di potenziamento. Cappelle fa osservare che Aristotele ha ben compre-

so che la forza della scure deriva «non a gravitate tantum, sed ab homine quoque percutiente» (p. 242).

All'azione della scure è collegata la prima ricorrenza del termine *techne*, in Omero: «sempre tagliente è il tuo cuore, come una scure che penetra dentro ad un tronco per mano dell'uomo, che con la sua arte taglia legno per navi, e la scure moltiplica la forza dell'uomo: così dentro al tuo petto non si smussa la mente» (*Iliade* 3, 60-63).

[223] Cfr. 853 a 19 ss. Biancani, che giudica la questione sufficientemente chiara di per sé, anche tenendo conto di quanto è stato detto nel problema nr. 17, propone una *Additio de veteri Securi, & Bipenne*, partendo dal commento di Proclo agli *Elementi* di Euclide (I 23; nel commento si fa riferimento all'angolo «a forma di scure», vd. p. 333, 13 s. Friedlein), e si sofferma sulla forma della bipenne antica («quae nihil aliud erat, quam duplex securis, sive securis anceps», p. 181); nella conclusione, inserisce in traduzione il carme figurato di Simia di Rodi, a forma appunto di bipenne (vd. *Antologia Palatina* XV 22).

Anche questa breve questione ha avuto ampia eco in epoca rinascimentale.

[224] La 'meraviglia' che la domanda suscita deriva ancora una volta dalla contrapposizione tra 'piccolo' e 'grande': la stadera è solo metà di una bilancia; il contrappeso è piccolo, ma riesce a equilibrare e a pesare ciò che è grande. La specificazione della merce da pesare (l. 25) stabilisce un collegamento con l'esperienza quotidiana: come altrove, in questo trattato, si parte da un oggetto comune, su cui si richiama l'attenzione con una domanda tanto più 'curiosa' quanto più inaspettata, dato che attinge a ciò che, facendo parte della normalità, potrebbe sfuggire all'indagine.

Il termine φάλαγξ (cfr. 849 b 36) indica qui la stadera: è stata ed è materia di discussione se si tratti della stadera cosiddetta romana, come interpreta la maggior parte dei commentatori rinascimentali, o danese, come sostengono Forster (1913, *ad loc.*), Heath (1998, p. 244 s.) e Knorr (1982, p. 126 ss.), o di un tipo intermedio tra i due (p. 252), come ritiene probabile Cappelle, che valuta a lungo i vari e problematici aspetti (pp. 242-253), e che delinea la differenza fondamentale tra la stadera di Aristotele, in cui l'*aequipondium* rimane immobile, e si muove invece lo *spartum*, e quella di Vitruvio, in cui accade il contrario: «Apparet autem [...] in statera Vitruviana prorsus alia fieri quam in Aristotelica. Cum enim in hac aequipondio immoto spartum per longitudinem scapi sit mobile, in ea contra aequipondium per puncta staterae vagatur, spartum in eodem loco manet» (p. 253; vd. qui la nota 232).

Le difficoltà interpretative sono specialmente connesse con l'uso e il significato di alcuni termini, che afferiscono alla stessa area se-

mantica, ma che hanno connotazioni diverse: ἄρτημα (853 b 25), ὁ σταθμός (853 b 33; 38) e τὸ σταθμόν (854 a 5; Forster, 1913, legge ὁ σταθμός), σφαίρωμα (853 b 32; 37; 854 a 5; 14), σήκωμα (854 a 13).

Il termine ἄρτημα, propriamente 'oggetto appeso', utilizzato in precedenza per indicare una fune di trazione (853 a 34), significa qui il peso che controbilancia il peso della merce (βάρος); come sinonimo sembra usato σταθμός. Più controversa è invece l'interpretazione di σφαίρωμα, che potrebbe essere un altro sinonimo, oppure riferirsi al peso fissato all'estremità, non mobile come gli altri lungo il braccio della stadera (σφαίρωμα varrebbe «*globus extremo staterae adaptatus*»; gli altri termini potrebbero indicare «*per stateram vagans appendiculum*»: tutte queste possibilità sono esaminate da Cappelle, p. 243; cfr. p. 252). Heath ritiene invece che i diversi termini indichino la stessa cosa, cioè il contrappeso, applicato a una estremità del braccio in modo da costituirne parte integrante (1998, p. 244). Il nome σφαίρωμα rinvia in ogni caso a una forma sferica. Se si intende un peso mobile, la stadera sarà 'romana' (essa è caratterizzata da un braccio graduato sul quale scorre un peso equilibratore costante; Monantheuil precisa: «aequipondium Graecis dictum σφαίρωμα nostris Marcum vel Romanum», p. 147); altrimenti, 'danese'. Nel tipo intermedio supposto da Cappelle, oltre a un peso applicato a un'estremità, ci sarebbe un *appendiculum* mobile («Fieri potest, ut Aristotelica statera quodammodo ab hodierna *Danica* diversa fuerit; ita scilicet, ut praeter globum alteri extremo adaptatum etiam habuerit appendiculum per scapum vagans», p. 251 s.; σφαίρωμα non avrebbe allora, fa notare Cappelle, lo stesso significato degli altri termini indicanti il peso).

Ancora più complessa è l'interpretazione dei termini σπάρτον/σπαρτίον (853 b 30; 36; 39; 854 a 2; 7-8; 10). Come si è detto, σπάρτον indica per estensione l'asse di sostegno della bilancia, o il punto su cui ruota il giogo, anche quando la bilancia non sia sospesa a una 'corda'. Nella stadera qui descritta non vi è tuttavia un unico *spartion*; si parla invece di *spartia*, posti a una certa distanza (l. 38 s.).

I commentatori rinascimentali rendono solitamente il termine con *trutina* (vd. per es. Piccolomini, f. XLIII v.; Biancani, p. 183); Monantheuil invece interpreta *ansa* (p. 146). Baldi raffigura due stadere diverse, con peso mobile e fisso, ma osserva che questo secondo tipo di stadera non viene normalmente usato (pp. 132-135); lo *spartion* viene inteso come «fulcimentum». I commentatori inoltre raffigurano una *trutina* o due; nello schizzo di Biancani, che pensa a un tipo diverso di stadera col peso fisso, invece ve ne sono di più («sunt [...] in tota staterae hasta trutinae plures», p. 183). Guevara si sofferma sull'interpretazione di Biancani, che giudica possibile, pur con dubbi relativi alla praticità del funzionamento di una stadera cosiffatta (p.

187 s.). Vd. anche Cardano, *De subtilitate* (1, III p. 371 ed. Buck 1966).

Le raffigurazioni qui proposte (vd. Fig. 16 a; 16 b; 16 c) illustrano le interpretazioni rispettivamente di Heath, Gohlke e Knorr. Nello schema di Heath, *A B* è l'asta, il braccio; *B* lo σφαίρωμα («a heavy knob or ball»); *A* il punto in cui viene attaccato un gancio o un piatto, per sostenere la merce da pesare; *C* il fulcro, la posizione dello σπαρτίον («string or loop on which the whole instrument is hung») in condizioni di equilibrio; *G* il centro di gravità (di cui non si parla ovviamente nel problema aristotelico, ma che è un termine delle equazioni formulate da Heath, nel commento – 1998, p. 244 s.).

Knorr dà molto rilievo a questo passo, data la mancanza di evidenza archeologica per le stadere più antiche (p. 126). Considerando che il testo non parla di un pomello mobile, ma di 'corde' che si spostano, e che è la selezione della 'corda' a indicare il peso, non la posizione del pomello, egli esclude che la stadera qui descritta sia romana; anche l'identificazione con una stadera danese gli sembra tuttavia discutibile, in quanto in essa vi è una sola corda di sospensione. La sua conclusione è che si tratti di un tipo di stadera danese, «where the suspension of the beam can occur only at a specified number of positions, rather then continuously along the beam» (p. 129).

225 Cfr. 854 a 7 ss. Nella leva, a una maggiore distanza dal fulcro, si ha una maggiore velocità e quindi efficacia ('facilità') di spostamento dell'oggetto; nella stadera, il momento è maggiore in relazione alla maggiore distanza del contrappeso dalla 'corda'. L'equiparazione con la bilancia è spiegata subito dopo; il riferimento costante, anche se non esplicito, è alle proprietà del cerchio. Cappelle spiega: «quemadmodum in vecte potentia eo facilius moveat, quo magis ab hypomochlio sit remota, ita et aequipondium in statera tanto majori agere momento adeoque majora trutinare mercium pondera, quanto productior ipsius distantia a sparto fuerit» (p. 245).

226 Interpreto così, intendendo che qui con il termine *ta spartia* ci si riferisca a 'punti di equilibrio', segnati da 'tacche' e ad esse corrispondenti, nell'asta graduata. A seconda delle ricostruzioni e delle interpretazioni, si può pensare a una o più 'barrette' (assi o aste verticali, o ganci, manici) di sostegno; in ogni caso, si deve tener presente che l'uso del plurale non implica necessariamente una pluralità di *spartia*, potendo rinviare invece alle diverse posizioni di volta in volta occupate dallo *spartion*, a seconda del peso da equilibrare, e che costituiscono altrettanti fulcri (vd. 854 a 10).

227 È preferibile accogliere la lezione φάλαγγος invece di πλάστιγγος; cfr. 849 b 23-26.

228 Per il nesso idiomatico ἕλκειν βάρος ('tirare un peso', 'pesare'), cfr. 853 b 39-854 a 1; a 8 s.

[229] A ogni punto di sospensione corrisponde un equilibrio diverso; pertanto è come se si avessero più bilance, ognuna delle quali ha un punto di equilibrio proprio, un fulcro (cfr. 854 a 6 s.) e un momento. Non viene fatta nessuna precisa valutazione dei rapporti numerici che devono intercorrere tra pesi e distanze.

Cappelle suggerisce in apparato questo emendamento (l. 38 s.): καὶ ὁ σταθμός, δι᾽ ἴσου ἀπ᾽ ἀπαλλήλων τῶν σπαρτίων κειμένων, οἷος συμμετρεῖσθαι κτλ; non lo accoglie nel testo, ma dichiara che la traduzione ne riflette il senso: «Aequipondium autem, cum sparta aequo a se invicem intervallo distent, ad commetiendum inservit …» (p. 69). L'emendamento non appare strettamente necessario (anche se l'accento è sulla posizione dello *spartion*), mentre sembra opportuno interpungere allo stesso modo, dopo ὁ σταθμός, come fa anche Forster.

Un approfondimento meriterebbero l'uso del nesso δι᾽ ἴσου, tecnico nel linguaggio geometrico, e il valore del termine ἴσος in questo trattato; cfr. 856 b 23; 858 a 1 e note 273; 288; 291.

Leonico Tomeo non traduce le linee 853 b 38 καὶ ὁ σταθμός – 854 a 3 καθάπερ εἴρηται; nel commento a questo problema spiega di aver tralasciato alcune linee del testo greco ritenendo che fossero *glossulae* (f. XXXVII r. – la numerazione è errata, invece di XLII r.): giudizio che può essere in parte condiviso. Forse proprio in riferimento a questa osservazione, Monantheuil, pur confermando il sospetto di interpolazione, sostiene che il testo non sia così «inutilis» da essere completamente tralasciato, ciò che invece «aliquis interpres fecit»: esso indica il modo per calcolare l'equilibrio (p. 149).

[230] Cfr. 853 b 35 s. e la nota 229.

[231] La leva si intende 'inversa', 'rovesciata', perché si considera che lo *spartion* (che è un fulcro, l. 10) 'sostenga' da sopra e non da sotto.

[232] Il termine σήκωμα indica il 'peso', il 'contrappeso' che si mette per equilibrare, una misura campione. Leonico Tomeo spiega che *sacoma* indica ciò che i Greci aggiungono, nella stadera, o nei piatti della bilancia, «ut illam ad aequipondi libramentum deducat» (f. XXXVII r.).

Il termine latino *sacoma*, calco dal greco σήκωμα, si legge nell'*Architettura* di Vitruvio, nella narrazione del noto episodio in cui Archimede scopre (IX prefazione 10: *eureka*, *eureka*) l'inganno dell'appaltatore cui Ierone di Siracusa aveva affidato la manifattura di una corona d'oro. Il re «pesò l'oro con precisione – *aurum ad sacoma appendit*»; l'appaltatore «a tempo debito sottopose all'approvazione del re il manufatto eseguito con finezza e sembrò consegnare una corona di peso corrispondente con precisione all'oro – *ad sacoma pondus coronae visus est praestitisse*» (IX prefazione 9).

Il senso dell'ultimo periodo è chiaro, ma l'espressione è faticosa. Alla fine del quesito si ripropone il parallelismo con la leva, e si riprende il principio fondamentale che guida l'argomentazione di questo trattato: a ciò si arriva equiparando la stadera alla leva, il cui braccio più lungo è considerato il raggio del cerchio maggiore; si torna così alle proprietà del cerchio.

Il collegamento tra la bilancia e la leva è un tema classico della meccanica antica (vd. Erone, *Meccanica* I 32 s., che fa riferimento a Archimede). Anche Vitruvio lo sviluppa, descrivendo il funzionamento di una stadera: «Quando il manico – *ansa* – che ha la funzione di fulcro è collocato molto vicino all'estremità a cui è appeso il piatto e il peso equilibrante o romano –*aequipondium* – viene portato, scorrendo di punto in punto – *per puncta vagando*, verso l'altra parte dell'asta, quanto più lontano se non addirittura all'estremità, l'equilibrio dovuto alla posizione orizzontale dell'asta fa sì che tale contrappeso, con il suo peso leggero e inferiore, divenga equivalente a un peso di notevoli proporzioni. Così, allontanandosi gradualmente dal fulcro, un contrappeso minuscolo e relativamente debole sposta un peso di entità maggiore e lo fa alzare senza sforzo, delicatamente dal basso verso l'alto» (*Architettura* X 3, 4).

Vitruvio, nel delineare, nel decimo libro, il processo di civilizzazione attraverso lo sviluppo delle diverse tecniche, valuta positivamente «la scoperta del sistema di pesatura per mezzo dei pesi delle stadere e delle bilance», in quanto «offrendo un criterio di equità, garantisce la nostra esistenza dalla frode» (X 1, 6). Pesi e misure come garanti di equità e di giustizia costituiscono un tema ricorrente nella riflessione dei Greci, vd. per es. Archita 47 B 3, I p. 436 ss.; Platone, *Eutifrone* 7 b-c; *Alcibiade* I 126 c-d; *Leggi* VI 757 a-e; cfr. Euripide, *Fenicie* 541 s.; e quanto si dice nella *Meccanica* a proposito dei venditori di porpora (849 a 34 ss.).

[233] Cfr. Erone, *Meccanica* II 34 i. Di questo strumento per cavare i denti parla Ippocrate, *Medico* 9, IX p. 216 L.; cfr. Plutarco, *Serenità interiore* 7, 468 c. Qui (l. 20) si specifica che era di ferro.

Il sottolineare che la tenaglia ha un peso si ricollega all'osservazione iniziale sull'uso della leva (847 b 11 ss.).

[234] Alla domanda seguono due possibili risposte, su cui i commentatori rinascimentali si sono soffermati, in quanto apparentemente contraddittorie (vd. Baldi, pp. 135-138).

L'introduzione di due (o più) *doxai* contrapposte fa parte dello stile e dell'argomentazione di questo trattato e, in modo ancor più evidente, dei *Problemi* del *C. A.*, e di altre raccolte così strutturate: in opere come queste, in cui convergono materiali di provenienza diversa e opinioni diffuse, e che soprattutto nascono nell'ambito di una scuola, di un vivo insegnamento, è logico che si illustrino anche vari

modi di vedere, per confrontarli, o che si tenga conto di possibili obiezioni.

Tra le diverse caratteristiche della materia, indagate nell'ambito del Peripato, c'è proprio quella per cui alcune superfici o alcuni liquidi sono scivolosi o viscosi, altri no, vd. per es. *Meteorologia* IV 8, 385 a 17; *Ricerche s. an.* VIII 2, 590 b 17; *Problemi* XXIV 1, 936 a 13-15; XXV 11, 939 a 25-28; XXXII 10-11, 961 a 18-30.

In questo caso, la capacità che ha la mano di aderire meglio al dente serve anche ad anticipare la conclusione.

[235] L'autore propone ora la propria spiegazione 'meccanica' ricorrendo al principio della leva, che qui serve a spiegare come il dente possa essere meglio 'mosso', 'scalzato', usando lo strumento (*organon*, ll. 24 e 30 s.).

[236] Vd. Fig. 17.

[237] L'autore usa il termine βάρος per il peso-forza-potenza e per il peso-resistenza.

[238] La conclusione è sembrata ad alcuni non esauriente, non motivata (vd. Baldi, p. 137 s.). In realtà la domanda e le risposte hanno messo in rilievo due condizioni per il successo dell'operazione, e due momenti diversi: sul movimento del dente è efficace la tenaglia, sulla presa è efficace la mano, che non scivola.

Piccolomini, sempre incline a difendere le 'ragioni' di Aristotele, previene una possibile osservazione dei suoi lettori («essendo che con questi istrumenti o non molto dissimili, non solo si muoveno, ma ancora si cavano i chiodi dei legni o dei pareti più commodamente che con la sola mano: questo medesmo par che si possi affermar circa il cavar i denti»), e risponde che quando stacchiamo un chiodo «appoggiamo le tenaglie al parete dalla lor più rilevata parte»: cosa che non si potrebbe fare nel caso dei denti, se non procurando una lesione. Perciò Aristotele ha ragione quando conclude che «il dente commosso dalla tenaglia più facilmente si può cavar con mano che con l'istrumento» (trad. di Biringucci, p. 79).

[239] Questo problema è impostato in modo molto simile a come si è condotta l'argomentazione nel precedente; anche gli strumenti sono simili: ciò che non hanno mancato di notare i commentatori rinascimentali. Vd. per es. Monantheuil, p. 156; Biancani, p. 185 («Tempore Arist. ut colligitur ex hac quaestione, ad frangendas nuces peculiare instrumentum lignum adhibeant, quod erat instar forcipis, ita tamen concinnatum, ut non ad scindendum, nec ad extrahendum, sed ad frangendum per compressionem esset aptum»). Da notare anche la ricorrenza del termine *organon* in entrambi (848 a 35; 854 a 24; a 30 s.; a 36; a 38).

La 'meraviglia' scaturisce dal fatto che mentre si è sostenuta e provata più volte l'efficacia della *plege*, del colpo, quando si schiac-

ciano le noci con lo strumento apposito non si ha una *plege*; viene meno pertanto la forza aggiuntiva del colpo violento. A rafforzare e a confermare la 'meraviglia', interviene la contrapposizione tra duro/pesante e leggero: contrariamente a quanto ci si aspetta, si ottiene un miglior risultato con uno strumento leggero che con uno pesante.

Lo schiaccianoci non ha qui un nome: esso è semplicemente indicato come l'*organon pros to katagnynai ta karya*; da qui sappiamo tuttavia che è leggero e di legno (l. 35). Il termine specifico *karyokataktes* è attestato in Ateneo, *Sofisti a banchetto* II 53 b (Panfilo nei *Termini rari* informa sul modo diverso con cui i Laconi chiamano lo schiaccianoci – τὸν καρυοκατάκτην).

[240] Il principio della leva, e la compressione che le due leve comportano, tanto più efficace quanto più la noce sia vicina al fulcro (854 b 6 s.), spiegano ciò che potrebbe apparire paradossale.

Lo schiaccianoci di cui parla l'autore corrisponde a una leva di primo genere, non di secondo come sarebbe il nostro schiaccianoci (vd. Heath 1998, p. 245).

[241] Vd. Fig. 18.

[242] Il significato è chiaro: come è stato facile, utilizzando una piccola forza, 'allontanare', 'aprire', 'separare', le linee (γραμμαί), oppure i punti (στιγμαί, termine non usato in questo trattato) che le rappresentano, così è facile 'riavvicinare', 'riunire', in quanto si tratta di movimenti conseguenti, data la struttura dello strumento. Il nesso ὑφ' ὧν crea tuttavia una difficoltà sintattica, cui editori e commentatori hanno cercato di ovviare, intervenendo sul testo. Leonico Tomeo traduce: «quemadmodum igitur fuere diductae secundum extrema motis *c d* ipsae *f e*, sic a parva faciliter potentia conducuntur». Sylburg afferma che Leonico Tomeo ha qui seguito una lezione diversa: ὥσπερ οὖν ἦσαν ἐκβεβλημέναι κατὰ τὰ ἄκρα κινουμένων τῶν γ δ αἱ ε ζ, οὕτω συνάγονται ῥαδίως ὑπὸ κτλ (p. 302). In realtà, potrebbe aver solo semplificato il contorto andamento del periodo, per una migliore comprensione: Leonico Tomeo riflette sul testo che ha davanti, non si limita a tradurlo pedissequamente (nella linea seguente traduce come se leggesse dei neutri invece di ἣν e di ταύτην; altri esempi si possono fare, come nota d'altra parte anche Sylburg). Monantheuil scrive αὐτῶν invece di ὑφ' ὧν, ma non vi si sofferma nel suo commento (p. 156 s.). Cappelle non interviene sul testo, ma considera corrotto ὑφ' ὧν per il quale suggerisce l'emendamento ἄκρων (di cui la sua traduzione tiene conto: «Quemadmodum igitur diductae fuerant ε ζ, motis extremis versus extrema δ γ, sic faciliter etiam a parva potentia rursus conducuntur», p. 75; cfr. commento, p. 255 s.). Forster omette ὑφ' ὧν e interpunge dopo ἄκρα (l. 2). Si potrebbe forse leggere ὑπ' ἀλλήλων; il testo è in ogni caso incerto e oscillante in più punti, in questo problema, vd. anche la nota 245.

[243] Sul significato del verbo αἴρεσθαι si è già detto, vd. il problema nr. 16, 853 a 14 ss. e la nota 207; il sollevarsi, l'alzarsi, è un aprirsi, un separarsi, disgiungersi, allargarsi, allontanarsi (cfr. l. 1): a questo movimento, che non riguarda ovviamente solo le 'estremità', ma le due linee, a partire dal punto di congiunzione, dal fulcro, corrisponde un movimento contrario, cioè un abbassamento e un ricongiungimento delle loro parti oltre quel punto. Spiega Guarino: «la loro elevatione con la quale rompono, non è altro che il contrario moto fra loro che pigliano dal commune hypomochlio» (f. H 2). Forster traduce: «for when weight is put upon the levers they move in opposite directions».

[244] L'efficacia e la facilità del movimento dipendono dalla distanza della leva dal fulcro, come si è detto ripetutamente, e dalla vicinanza della noce (cioè del peso-resistenza) al fulcro.

Baldi propone il confronto con Euclide, *Elementi* I 21 (dove si dimostra che «qualora due rette siano costruite all'interno di un triangolo su uno solo dei lati e dai suoi limiti, le rette costruite saranno minori dei restanti due lati del triangolo, e comprenderanno un angolo maggiore»): tale è l'angolo che si forma nello strumento; ad un angolo maggiore, corrispondono nello strumento una maggiore apertura delle leve e una maggiore compressione (p. 139).

[245] È preferibile accogliere la lezione τὰ ZE invece di τὸ ZE. Più problematica appare la scelta tra le varianti τῶν A/ τοῦ A (l. 10), τῶν A/ τῆς A/ τοῦ A (l. 11): oltre al facile guasto testuale, bisogna tener conto delle incoerenze e delle oscillazioni nell'uso dell'articolo con le lettere variabili, in questo trattato, come si è accennato nell'introduzione. Cappelle nel primo caso (l. 10) accoglie la lezione del Par. A: τοῦ A; nel secondo, la lezione del Par. B: τῆς A. Così anche Bussemaker e Apelt; Forster (che traduce basandosi sul testo di Apelt) omette τῆς A (l. 11). Cfr. l. 6. Lasciando il testo vulgato (τῶν A), si può intendere: le linee che convergono in A e formano l'angolo.

[246] Alcuni commentatori, identificando nella contrapposizione tra strumento pesante e strumento leggero (l. 34 s.) la seconda parte della questione, hanno notato che essa non verrebbe risolta. Le loro considerazioni, tese a 'giustificare' Aristotele, si basano sul fatto che ciò che è 'grave' si muove più difficilmente (vd. Monantheuil, p. 157); in realtà, l'opposizione non ha una rilevanza argomentativa, corrispondendo maggiormente all'esigenza di sottolineare la 'meraviglia' (vd. Piccolomini, f. XLVII v.).

[247] Questo problema propone un'argomentazione relativa alla costruzione che noi conosciamo come parallelogramma delle velocità, in cui due lati adiacenti di un parallelogramma rappresentano due 'vettori' (velocità, spostamenti, forze), mentre la risultante è data dalla diagonale. Vd. anche il problema nr. 1 (848 b 13 ss.), e le note 54 e 56.

Baldi richiama l'attenzione sull'importanza dello studio dei moti composti anche per la meccanica antica, e definisce *pulcherrima* la *contemplatio* proposta da Aristotele (p. 139 s.). La scelta di questa figura, del rombo, invece di altre figure quadrilatere è funzionale, osserva Baldi, alla dimostrazione («Porro necesse fuit rem in Rhombo speculari», p. 141). Cfr. Euclide, *Elementi* I def. 22: «Delle figure quadrilatere, quadrato è quello che è sia equilatero sia rettangolo, eteromece quello che è rettangolo ma non equilatero, rombo quello che è equilatero ma non rettangolo, romboide quello che ha sia i lati sia gli angoli opposti uguali tra loro, e che non è né equilatero né rettangolo; e i quadrilateri a parte questi siano chiamati trapezi».

I punti estremi sono ovviamente quelli dei lati; i due movimenti del punto sono uno il proprio, l'altro è quello indotto dal lato in cui si trova (vd. 855 a 11 s.).

[248] Il verbo διέρχεσθαι 'percorrere', 'muoversi/ scorrere lungo' è tecnico in geometria; è un termine di cinematica, che è restato tradizionale: in questo caso (l. 19 s.), in un vecchio manuale si troverebbe scritto: 'percorre un tratto minore di esso lato'. Forster lo rende con *to describe* (il movimento di un punto 'descrive' una linea). Cfr. Aristotele, *Fisica* VIII 9, 265 a 19; b 6; particolarmente interessante il confronto con i *Problemi* XVI 3, 913 b 5, in un contesto in cui l'impostazione fisica della questione si intreccia con quella geometrica (il quesito è: «Perché, con grandezze il cui peso non sia uniforme, se viene messa in movimento la loro parte più leggera, l'oggetto lanciato descrive un cerchio, come nel caso dei dadi appesantiti di piombo, se li scagliamo con la parte più leggera rivolta verso di noi?», 913 a 34-37).

La 'meraviglia' e la conseguente indagine derivano qui dall'opposizione medesimo/ diverso; unico e semplice/ duplice. Non ci sia aspetta che ciò che si muove con la stessa velocità e nello stesso tempo percorra uno spazio diverso; né che ciò che è dotato di due movimenti proceda più lentamente di ciò che ne ha uno solo. Il problema pone dunque due quesiti: il primo viene indagato geometricamente; il secondo tiene conto di considerazioni sia geometriche sia fisiche.

[249] Vd. Fig. 19.

A l. 23 è necessario il facile emendamento A invece della lezione Δ.

Monantheuil suggerisce un'efficace immagine al suo lettore: «Concipiamus ergo α tanquam formicam ambulantem [...]» (p. 160).

[250] I movimenti qui descritti devono essere intesi tenendo conto dei rapporti tra i lati e tra gli angoli, e della diversità delle diagonali, cui sono sottesi angoli di diversa ampiezza.

Presupposti essenziali dell'argomentazione sono il mantenimento del parallelismo dei lati, e l'uniformità del loro movimento.

[251] Considerate le prime due combinazioni dei movimenti, e le ri-

sultanti che ne derivano (le diagonali di diversa lunghezza), si passa al caso intermedio (854 b 27 ss.), quando A ha descritto solo metà della linea AB, cioè AE, e così via.

L'autore ha esaminato i movimenti che avvengono secondo un certo rapporto nel primo problema (848 b 3 ss.). Qui, dalla somiglianza delle figure ottenute, e dai rapporti che si stabiliscono, si deduce il percorso dei punti presi in considerazione. Molto interessante il confronto con gli *Elementi* di Euclide: «I completamenti – τὰ παραπληρώματα – dei parallelogrammi intorno alla diagonale di ogni parallelogrammo sono uguali tra loro» (I 43); «I parallelogrammi intorno alla diagonale di ogni parallelogrammo sono simili sia a quello totale sia tra loro» (VI 24).

Alla voce παραπλήρωμα (che non compare in questo trattato, dove ricorre tuttavia con la stessa accezione tecnica il verbo πληροῦσθαι o παραπληροῦσθαι, vd. 854 b 29 s. e 37; cfr. 848 b 29 s.; 849 a 26, e la nota 69) 'complementum', Mugler afferma: «Nom inventé par Euclide pour désigner dans un parallélogramme les figures complémentaires des deux parallélogrammes partiels obtenus en menant des parallèles aux côtés par un point quelconque d'une diagonale» (1958, p. 332). Proclo, nel *Commento* a Euclide, si sofferma sulla denominazione di 'complementi', e sulla sua derivazione, facendo osservazioni importanti per la storia della terminologia geometrica, vd. p. 418, 15 ss. Friedlein.

Il verbo διιέναι (854 b 34) è usato come sinonimo di διέρχεσθαι nella geometria; cfr. *Fisica* VIII 8, 263 a 5; *Cielo* II 10, 291 b 4; *Problemi* XI 34, 903 a 36; XII 4, 907 a 1; XXII 11, 931 a 13; XXIII 23, 934 a 16.

Il termine σύναψις 'punto di contatto' (854 b 39; cfr. 854 a 23; a 28; *Fisica* V 3, 227 a 14 s.; *Parti d. an*. III 4, 667 b 6 s.; *Linee indivisibili* 971 b 22; *Colori* 3, 793 b 2) ha in geometria lo stesso significato di συναφή (cfr. 854 a 39; b 11): quest'ultimo, usato da Euclide, è entrato a far parte del linguaggio della geometria.

A l. 854 b 32, il soggetto di ἔσται è il punto A; a l. 36, è necessario l'emendamento ΒΓ invece della lezione ΑΓ. Nelle linee 855 a 2 καὶ τὸ Β – 4 τοῦ Α Monantheuil dà un testo diverso. Nella raffigurazione del rombo contenuta nei commenti rinascimentali la diagonale più lunga è contrassegnata dalle lettere ΑΔ.

[252] I due movimenti sono, come si è detto, quello che un punto ha di per sé, e quello indotto dal lato; nello stesso tempo in cui si muove il punto, si muove anche il lato: in questo caso B ha il suo proprio movimento verso A e quello di AB verso ΓΔ.

A l. 6, seguo il testo dato da Cappelle e da Apelt sulla base del Par. B: ἡ μὲν α δ διάμετρος. Sulla base del Par. A, si potrebbe anche scrivere: ἡ μὲν διάμετρος ἡ α δ ἐλάττων (vd. Bussemaker).

[253] L'argomentazione si basa sulla diversa ampiezza degli angoli: la velocità e le distanze percorse in una unità di tempo dipendono da essa.

Le considerazioni geometriche sono giuste e pertinenti, pur se inserite in un contesto in cui largo spazio hanno anche determinate concezioni fisiche sulla direzione dei movimenti, 'naturali' e 'indotti', e il ragionamento polare. Termini tecnici della geometria si trovano così accanto ad altri più generici, o connotanti rapporti da collegare all'interpretazione fisica del movimento. Indicativo è l'uso del verbo συνεπουρίζειν (l. 13, nella forma attiva, e l. 20, nella forma passiva) che propriamente significa 'soffiare a favore', e viene detto del vento. Aristotele lo impiega nelle *Ricerche sugli animali*, parlando della migrazione dei pesci (essi si spostano più rapidamente col favore del vento, VIII 13, 598 b 7-9); e nel trattato sul *Cielo* con il significato di 'favorire', 'assecondare' «il movimento secondo natura» (τὴν κατὰ φύσιν ... κίνησιν, III 2, 301 b 29), in un passo interessante per un confronto, in quanto in esso si distingue tra la natura (*physis*) come principio di movimento insito nella cosa stessa, e la forza (*dynamis*) come «principio di movimento presente in un'altra cosa, oppure nella cosa, concepita come altra» (301 b 17-19). La funzione dell'aria, di cui la forza si serve, e la trasmissione del movimento per 'contatto' completano l'argomentazione; di ciò non si parla nella *Meccanica*: l'autore ha come punto di riferimento una figura, un oggetto geometrico, e sottolinea nello stesso tempo che il punto ha un movimento *per se* e un altro *per accidens*. L'importanza dell'aria, e delle sue qualità, nella trasmissione del movimento è invece ben tenuta presente nei *Problemi* e nel trattato sui *Suoni*.

Per indicare l'azione opposta a quella comunicata dal verbo συνεπουρίζειν, si ricorre al diffusissimo e generico verbo κωλύειν (l. 26). L'osservazione di ciò che di volta in volta può 'impedire', 'ostacolare' il movimento, o 'interferire' con esso, e dei movimenti in direzioni contrarie è ricorrente nei *Problemi*, vd. per es. V 39, 885 a 6 ss.; XI 35, 903 a 38 ss.; XVI 13, 915 b 18 ss.; XXXI 7, 957 b 35 ss.

Il verbo ὑποφέρειν (ll. 12; 23; cfr. 848 b 15), propriamente indica il 'trascinar via', il 'sottrarre'; il 'sostenere'. Qui esso serve a connotare il movimento 'non spontaneo', che il punto 'è costretto' a fare: nella *Meccanica*, ὑποφέρεσθαι e ὑποφέρειν si distinguono da φέρεσθαι e φέρειν (vd. Bonitz 1961, p. 802 b 61). Cfr. *Locomozione d. an.* 3, 705 a 9; *Ricerche s. an.* VIII 24, 604 b 1; *Problemi* V 19, 882 b 29. Forster (1913) in nota alla sua traduzione («it is moved down by the side») osserva che l'angolo ottuso è qui considerato l'*apex*.

Sull'uso dell'avverbio σχεδόν (l. 11) si sofferma lo scoliasta (vd. Cappelle p. 82; Bottecchia 1982, p. 158 s.); cfr. Monantheuil (p. 163), a proposito del suo uso a l. 19.

Nella l. 11 è preferibile la lezione αὐτό (vd. Bussemaker e Forster 1913) invece di αὐτή (855 a 11): ci si riferisce al punto, indicato nelle linee immediatamente precedenti con il termine *semeion*.

[254] 'La linea si approssima a diventare sempre più diritta': cioè, il lato tende ad allinearsi sempre di più con l'altro. Divenendo l'angolo ΓΑΒ gradualmente sempre più ottuso, ΓΑ e ΑΒ finirebbero per diventare una sola linea. Hett, sottolineando la correttezza dell'affermazione, fa l'esempio di ciò che accade nel caso che un uomo cammini sulla coperta di una nave alla stessa velocità della nave, ma in direzione opposta («Aristotle quite correctly introduces the extreme case. In the event of a man walking on the deck of a ship with the same velocity as the ship in a direction exactly opposite to the ship's motion, he will not move at all, relatively to a fixed point on the land», p. 386 s.). Forster (1913) commenta portando un esempio simile.

Quando l'angolo è ottuso e si avvicina a due angoli retti, le velocità rappresentate dai lati tendono a essere opposte tra di loro e quindi a ostacolarsi, a neutralizzarsi, con conseguente rallentamento della velocità. Quando l'angolo è acuto accade il contrario: il movimento tende verso la stessa direzione; così, quanto più l'angolo sarà acuto, tanto più aumenterà la velocità.

L'argomentazione procede sempre più serratamente attraverso coppie di contrari: la conclusione viene indicata come conforme a un corretto ragionamento dall'uso dell'avverbio εὐλόγως (l. 27). I movimenti in direzioni opposte si ostacolano e si ritardano; quando invece il movimento è in una direzione soltanto, cioè nel senso della lunghezza, in questo caso, non ci sono impedimenti né interferenze. Si è data pertanto una spiegazione 'logica' di ciò che ha suscitato la meraviglia: anche se il movimento è uno, può essere più veloce, perché non è ostacolato.

I commentatori rinascimentali hanno distinto in questo problema parti argomentative più corrette, da altre che arrivano a conclusioni non sempre vere (vd. Monantheuil, p. 161; Baldi, p. 145), se si considerano altri rapporti tra angoli e lati. L'autore riferisce il parallelogramma delle velocità a un tipo di rombo in cui una diagonale è più lunga dell'altra.

I concetti di movimento autonomo e indotto, favorito o ostacolato avranno una funzione nel problema successivo. Drabkin mette in evidenza in questo problema «a kinematical approach» che manca nelle opere sicuramente autentiche del *C. A.*, e rinvia ad altri passi (848 b 13-21; 849 b 1-19) che gli sembrano altrettanto significativi (1950, p. 169 s., e n. 11).

[255] Questo problema è noto con il titolo 'ruota di Aristotele': tratta essenzialmente del movimento di cerchi non uguali e concentrici,

il cui centro sia anch'esso in movimento, come accade appunto nella ruota di un carro (nel problema ottavo, sono stati distinti tre possibili modi del movimento del cerchio, 851 b 16 ss.). Esso è stato molto discusso, date le difficoltà di interpretazione; Monantheuil comincia il suo commento definendo questo problema «subtilissimum» tra tutti quelli precedenti e seguenti (p. 166). Cappelle, ricordando brevemente quante varie e contrastanti opinioni siano state espresse, da chi se ne è occupato senza successo prima di Mairan (di cui riferisce la spiegazione, vd. pp. 263-267; cfr. Drabkin 1950, p. 193 ss.), annota l'unanime conclusione quasi proverbiale a cui si era arrivati: *rotam Aristotelis magis torquere, quo magis torqueretur* (p. 263).

Sembra che la discussione di questo problema nell'antichità sia attestata solo nella *Meccanica* del *C. A.* e nella *Meccanica* di Erone (I 6-7, vd. Nix 1976, pp. 14-18; Drabkin 1950, p. 170 s.; Micheli 1995, p. 91, n. 142). Ciò non esclude tuttavia che esso sia stato materia di un dibattito più ampio, come potrebbe confermare la non usuale formula introduttiva, *aporeitai dia ti* (l. 28), invece della formula *dia ti* normalmente impiegata.

La domanda nasce anche qui da un paradosso: secondo il senso comune non ci si aspetta un rapporto di uguaglianza dal comportamento di due opposti grande/ piccolo; l'aporia è aumentata dal fatto che si può avere talora un effetto, talora un altro. Si distinguono così quattro casi, su cui si incentra tutta l'argomentazione seguente: cerchi concentrici; cerchi separati; cerchi concentrici che rotolano sul piano HK (vd. Fig. 20), la tangente al cerchio minore; cerchi concentrici che rotolano sul piano ZΛ, la tangente al cerchio maggiore.

Drabkin riassume brevemente il problema, proponendo due figure: se due cerchi (A e A') non uguali rotolano indipendentemente su una tangente completando un giro, i loro tracciati (XY e X'Y') sono diseguali, perché sono in ciascun caso uguali alla circonferenza (vd. Fig. 20 a). Se invece i due cerchi sono concentrici e fissati l'uno all'altro, i tracciati sono uguali, quando rotolano (vd. Fig. 20 b). Se il cerchio più piccolo rotola sulla sua tangente, il tracciato è per entrambi i cerchi eguale alla circonferenza del più piccolo; se rotola il cerchio più grande sulla sua tangente, il tracciato è eguale, per entrambi, alla circonferenza del più grande. Si assume che ciascun cerchio rotoli senza scivolar via e deviare, e tracci quindi con un solo giro, una linea uguale alla propria circonferenza (1950, p. 162 s.).

I commentatori di età rinascimentale hanno approvato l'impostazione e la soluzione dell'autore, pur con qualche ampliamento e ulteriori considerazioni; oppure l'hanno criticata sottolineando altri principi interpretativi, o sollevando questioni di metodo. Gerolamo Cardano è molto critico sia perché Aristotele basa la sua soluzione su principi diversi (il passaggio da un genere all'altro andrebbe contro

una regola della logica aristotelica), sia perché non distingue tra *motus per circulum* e *motus circularis*, vd. *Opus novum de proportionibus*, Prop. 196, IV p. 575 s. ed. Buck 1966 (cfr. qui le note 262 e 268). Anche Giovanni Battista Benedetti individua, attraverso una dimostrazione esclusivamente geometrica, la 'vera' causa dell'effetto non ben spiegato da nessuno, e non così paradossale, dal suo punto di vista: quando due cerchi concentrici sono mossi l'uno dall'altro, si possono avere movimenti nella stessa direzione, o nella direzione opposta (p. 166 s.; cfr. Guarino, f. I). «Benedetti mostra come qualsiasi punto di un arco del cerchio minore, quando si muove in virtù della rotazione del cerchio maggiore, ottiene due movimenti nella medesima direzione, poiché non solo si muove assieme al centro, ma viene ulteriormente trasportato dal cerchio maggiore. Quando invece il cerchio maggiore viene trasportato in virtù della rotazione del cerchio minore, qualsiasi punto di un arco del cerchio maggiore, quando viene in contatto con la tangente, non solo non viene spostato in avanti, ma piuttosto viene spinto indietro» (Carugo 2005, p. 322).

Secondo Baldi e Guevara, il problema sviluppa il tema del moto composto affrontato nella questione precedente (vd. rispettivamente, p. 146: «Mirabilem aliam quaestionem proponit Aristoteles, quae itidem ad mixtos motus pertinet»; p. 207: «Quaestio haec admirabilem complectitur difficultatem, utpote instituta circa rem, quae vix credi posset, nisi ante oculos observaretur. Unde inter caeteras praecipua ac omnium difficillima existimatur, multumque pariter sicut praecedens ad mixti motus naturam explorandam conducit»). Drabkin sottolinea questo collegamento, pur se l'autore non ricorre esplicitamente al concetto della composizione dei moti, che gli è invece familiare, e se non analizza il problema sollevato dalla corrispondenza, punto per punto, delle due circonferenze di ineguale lunghezza: temi collegati con l'analisi della *continuità* e dell'*infinità* (vd. il sesto libro della *Fisica* di Aristotele). Si chiede infine se la collocazione di questi due problemi, il nr. 23 e il nr. 24, sia accidentale, o se non siano piuttosto stati tratti «from a collection of problems illustrative of the paradoxes of the infinite and the infinitesimal, paradoxes that underlie all motion» (1950, p. 168-170).

Con il precedente, esso in ogni caso si collega per l'alternarsi di dimostrazione geometrica e di analisi filosofica e fisica del movimento, condotta sulla base dei concetti di moto proprio, autonomo, naturale e moto indotto, moto *per se* e moto *per accidens*.

L'argomentazione appare inutilmente complessa, mentre potrebbe essere più semplice tenendo presente il principio di composizione dei moti, per cui il moto circolare è il risultato di due simultanei moti rettilinei ortogonali fra loro, che l'autore conosce molto bene. Questo può essere in parte spiegato, considerando che in un trattato

di scuola sono possibili interventi diversi; più generalmente, come si è detto nell'introduzione, riguardo al problema della scienza antica, dei suoi traguardi, delle sue involuzioni e dei suoi insuccessi, acquisizioni importanti non vengono sempre e compiutamente messe a frutto all'interno di una stessa opera.

[256] Si insiste sui dati che vengono dall'*aisthesis*, che è sia visiva sia intellettiva in questo caso: non ci si riferisce a una generica 'facoltà' di percepire, quanto di cogliere con i sensi e con la mente, osservando una figura, in questo caso. L'insistenza è funzionale ad accrescere la 'meraviglia', secondo una consuetudine di questo trattato; ma serve anche a passare alla fase immediatamente successiva, cioè all'analisi geometrica, con cui si dimostra ciò che è apparso evidente di per sé. Questo è molto significativo se si pensa alla geometria euclidea e, più generalmente, al modo in cui i Greci hanno indagato la realtà (vd. introduzione). Arthur Schopenhauer scrive: «Ricordo di aver letto nell'introduzione ad una traduzione tedesca di Euclide, che bisogna far disegnare ai principianti di geometria tutte le figure, prima di passare alle dimostrazioni, affinché s e n t a n o così la verità geometrica prima che la dimostrazione ne dia la perfetta conoscenza» (*Il mondo come volontà e rappresentazione* I 11, ed. a cura di Vigliani 1992, p. 98; cfr. I 14, p. 114; I 15, p. 122 ss.; Suppl. I 13, p. 901 ss.).

Un significativo elogio della geometria, formulato con esplicito riferimento al posto che essa ha avuto nella cultura greca, si legge nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Mecanica & e i Movimenti locali* di Galileo: «– Sagr. Che diremo, Sig. Simplicio? non convien egli confessare, la virtù della geometria esser il più potente strumento d'ogni altro per acuir l'ingegno e disporlo al perfettamente discorrere e specolare? e che con gran ragione voleva Platone i suoi scolari prima ben fondati nelle matematiche? Io benissimo avevo compreso la facultà della leva, e come crescendo e sciemando la sua lunghezza, cresceva o calava il momento della forza e della resistenza; con tutto ciò nella determinazione del presente problema m'ingannavo, e non di poco, ma d'infinito.

– Simp. Veramente comincio a comprendere che la logica, benché strumento prestantissimo per regolare il nostro discorso, non arriva, quanto al destar la mente all'invenzione, all'acutezza della geometria» (Giornata seconda, ed. Favaro, vol. VIII, p. 175).

Nella linea 855 a 36, è utilizzato il termine γωνία, il cui significato è stato già discusso (cfr. 851 b 24; b 38, e note 175 e 180). Si tratta dell'angolo al centro che sottende un arco di circonferenza; e si mette a confronto l'ampiezza delle parti che i suoi lati delimitano sulle due circonferenze, e che costituiscono la sua 'base', maggiore nel cerchio maggiore e minore nel cerchio minore. L'autore considera i

rispettivi quadranti di cerchi concentrici (vd. 855 b 13 s.). Utile è anche il confronto con quanto viene affermato nel passo 851 a 13 s. (vd. la nota 156).

Monantheuil commenta, in questo caso: «anguli e semidiametris constituti (quos angulos circuli vocat hic Aristoteles) bases quae sunt peripheriae, evidenter inaequales sunt» (p. 167). Piccolomini richiama la definizione proposta illustrando il problema ottavo («chiamo anguli le inclinationi & accostamenti delle linee, che procedon dal centro fin alla circunferentia», trad. di Biringucci, p. 87). Biancani precisa: «Quod autem maior solus in sua revolutione maiorem lineam describat, manifestum est hinc, quia sensu patet maiorem circunferentiam in maiori circulo subtendere angulum, qui fit a diametris in centro; minorem vero circunferentiam, subtendere eundem angulum in minore orbe [...] eandem igitur [...] habebunt etiam proportionem illae lineae, quae a singulis seorsum orbibus revolutis designabuntur» (p. 188). L'interpretazione di Biancani è condivisa da Heath: «I can only believe that the angles here compared are the angles of similar sectors, or angles subtended at the centre by similar arcs, of a greater and lesser circle having the same centre» (1998, p. 250). Krafft traduce: «Bogen des jeweiligen Durchmessers», intendendo l'arco che il diametro dei rispettivi cerchi descrive; richiama poi i rapporti che si stabiliscono tra le rispettive lunghezze, data un'uguale velocità angolare (p. 94).

Nella l. 855 b 4, seguo il testo dato da Cappelle (che si basa in parte sulla lezione del Par. A), Bussemaker e Apelt: ὁτὲ δὲ τῇ, ᾗν ὁ ἐλάττων. Hett scrive: ὁτὲ δὲ τῇ ᾗν ἐλάττων.

[257] Vd. Fig. 20. Per indicare il 'rotolare', il 'girare' dei cerchi si usano qui come sinonimi i verbi ἐκκυλίεσθαι e ἐξελίττεσθαι (855 a 29, 30, 34 s., 39; b 2, 4, 7, 15, 17), verbi che ricorrono nel *C. A.* soprattutto nei *Problemi* , dove ci si sofferma sulla caduta dei gravi, sul movimento di cilindri e coni, sulla sezione che si ottiene srotolando i libri (il libro antico aveva forma di rotolo, cioè cilindrica), vd. XVI 4, 913 b 16; 5, 914 a 15; 6, 914 a 30, 33.

[258] Il movimento proprio, indipendente, autonomo (καθ' αὑτόν è un nesso molto significativo nella filosofia aristotelica) ha una rilevanza argomentativa anche in questo problema.

Nella linea 8, gli editori accolgono il necessario emendamento di Cappelle ΖΛ invece della lezione vulgata ΑΖ.

[259] Molto significativo è l'uso della prima persona (l. 9; vd. anche l. 18), non usuale nei trattati del *C. A.* caratterizzati da un prevalente stile impersonale, contrariamente a quanto accade negli scritti ippocratici: con esso, l'autore diventa presente nel testo; come in altre opere del *C. A.* manca in ogni caso il riferimento diretto a un destinatario, ascoltatore o lettore, a un 'tu' o a un 'voi'. Quest'uso è più

ricorrente nella *Fisiognomica* (806 a 27; 809 a 26; 811 a 1), trattato in cui l'autore intende dare alla propria disciplina lo statuto di *techne*, anche ricorrendo alla struttura del manuale, rigorosamente impersonale solo nelle parti che contengono elenchi. Interessante è anche il confronto con alcuni enunciati e dichiarazioni degli *Elementi* di Euclide, vd. Acerbi 2008, p. 264.

Il verbo ἁρμόζειν nel linguaggio della geometria, e nel senso di «opération consistant à faire coïncider certains points d'une figure cherchée avec certains points d'une figure donnée», può essere sinonimo di ἐγγράφειν 'iscrivere'; oppure, usato intransitivamente, può dirsi di un ragionamento 'conveniente', la cui validità deriva dalla sua corrispondenza con un ragionamento già fatto, o dall'accordo tra la struttura logica di un ragionamento e la sua espressione (vd. Mugler 1958, p. 83). Qui sono usati i suoi composti προσαρμόζειν, ἐναρμόζειν, συναρμόζειν per indicare l'operazione di 'adattare', congiungere una figura con un'altra (855 b 10; b 18; 856 a 17; a 20); cfr. 850 b 32; *Problemi* XXIII 29, 934 b 19; *Fisiognomica* 809 a 24 s. I diversi preverbi connotano la stessa operazione in modo specifico. Anche il termine μέρος (l. 14: 'la parte'), di largo uso, è entrato nel linguaggio della geometria a indicare la parte di una figura; in geometria, il quadrante, il quarto di una circonferenza, viene tuttavia detto *to tetragonon* (vd. Mugler 1958, p. 419). Per il rapporto tra le parti e i multipli, vd. Euclide, *Elementi* V 15 («Le parti – τὰ μέρη – hanno, prese in ordine corrispondente, lo stesso rapporto dei multipli presi allo stesso modo»).

[260] Il concetto di *syneches* (l. 25) è fondamentale nell'analisi aristotelica di ciò che accade nello spazio e nel tempo: la teoria del movimento 'forzato' richiede il contatto continuo tra motore e mosso. Qui, la continuità del movimento, su cui si insiste, aumenta la 'meraviglia' del risultato osservato; d'altra parte essa costituisce un requisito, un presupposto essenziale per il corretto sviluppo del ragionamento.

Queste linee (855 b 23-30) dimostrano che l'autore ha ben chiare le difficoltà connesse, anche se, come osserva Drabkin, non le affronta tutte (1950, p. 168).

Il lessico utilizzato per indicare l' 'attesa' o il 'sorpassare', rispettivamente il sostantivo στάσις (l. 23) e il verbo ὑπερπεδᾶν (l. 26), è molto indicativo di una costante sovrapposizione di livelli argomentativi, e della tendenza a dare all'entità puramente geometrica una consistenza concreta, quasi un'animazione, e a farne un oggetto reale, dotato di certe capacità o potenzialità. Si può notare che il verbo ἱστάναι, con cui è connesso il termine στάσις, può avere un senso tecnico in geometria, confrontabile, soprattutto nelle forme intransitive, con quello del verbo μένειν (vd. Mugler 1958, p. 234). Tuttavia

la parola στάσις ha una varietà di accezioni e usi in ambiti molto diversi; inoltre, in questo contesto anche il verbo μένειν (l. 24), già usato in senso tecnico, per indicare la posizione del centro o di ciò che può essergli assimilato (vd. 847 b 20; 850 b 12; 851 b 19 s.; 857 a 29 s.; 858 b 30; cfr. 853 a 18), assume un significato conforme con un'impostazione più fisica che geometrica.

Nelle linee 20 s., il soggetto è espresso da un pronome, che potrebbe riferirsi o alle linee AB e ΑΓ di cui si è parlato subito prima, oppure agli archi di circonferenza HB e ΖΓ, di cui si è detto (l. 15 s.); è preferibile questa seconda interpretazione. Anche per il soggetto del verbo ἔσονται si può essere in dubbio se si intendano in genere i cerchi, o più precisamente i punti H e Z, estremi degli archi HB e ΖΓ. Il significato è in ogni caso chiaro.

A l. 22, accolgo la lezione ἡ AH ὀρθὴ πάλιν πρὸς τὴν HK; a l. 24, la lezione τοῦ μείζονος.

[261] Si riprende con il termine θαυμαστόν (l. 30) il concetto espresso poco prima da ἄτοπον (l. 28).

Ora si considera un altro paradosso che ricorda l'argomentazione del problema precedente, fondandosi sulla coppia uno/ duplice, medesimo/ diverso: un solo movimento e due effetti diversi. Efficacemente Monantheuil elabora questo sillogismo: «Idem eadem celeritate latum aequalem lineam transire natum est./ Centrum circulorum concentricorum unum idemque est./ Ergo aequalem transire natum est»; poiché invece accade diversamente, «problema admirationis plenum est» (p. 170).

Segue una spiegazione che conferma il paradosso, attraverso la relazione tra distanza e velocità, indagata nella *Fisica* di Aristotele, più volte richiamata anche in questo trattato, e qui valutata come naturalmente e intrinsecamente valida (vd. l. 31: πέφυκε). Si sta ancora illustrando ed esplorando il problema nei suoi vari aspetti, insistendo sulla 'meraviglia', prima di indagare la causa (l. 32 ss.).

Il neutro τὸ αὐτό (l. 30) potrebbe anche sottintendere *semeion*: si è parlato del centro, e il centro è un 'punto'. Tuttavia qui sembra preferibile intenderlo in senso più generico, tenendo conto anche del passo che segue.

[262] Si passa all'esposizione della causa, che si articola in modo molto indicativo dell'impostazione e del metodo seguiti. Il sostantivo ἀρχή, che ha una posizione di rilievo nella frase, rinvia al 'principio' su cui ci si deve basare; il suo significato non si confonde con quello del sostantivo αἰτία (l. 32) la 'causa', né si sovrappone a esso, pur condividendo i due termini campi semantici affini. Cappelle si sofferma sulla compresenza dei due vocaboli: ἀρχή è un «principium causae», è la causa 'remota', contrapposta alla causa 'prossima' (p. 259); commentando poi un altro passo in cui ricorre questo sostanti-

vo (32, 858 a 16), definisce così il valore che esso ha generalmente in Aristotele: «principium primum seu causa primaria et maxime universa, unde aliquid est, fit, vel cognoscitur» (p. 278). Cfr. *Metafisica* Δ 1-2, 1012 b 34-1014 b 15; *Analitici secondi* I 2, 71 b 9-72 b 4: a proposito di quest'ultimo passo, Mignucci fa notare che il termine *aitia* si riferisce non solo a ciò che noi intendiamo per 'causa' (e che Aristotele chiamerebbe 'causa efficiente'), ma anche a ciò che può spiegare uno stato di cose o un fatto, in risposta a un *perché*; potrebbe essere reso pertanto con 'spiegazione', o con 'ragione' (2007, p. 151). Vd. anche la nota 297.

L'indagine sulle cause immediate è più tipica dei trattati cosiddetti minori.

'Si assume' ciò che costituisce la base, l'inizio per un corretto ragionamento deduttivo. Il verbo λαμβάνειν (vd. l. 32: ληπτέα; cfr. *Colori* 2, 792 a 30), è tecnico sia in ambito logico, sia nel linguaggio geometrico (εἰλήφθω è frequente come formula introduttiva, vd. per es. Euclide, *Elementi* I 5); in questo caso, ha due significati: «Se donner, dans les constructions, des points, des lignes, des figures; faire appel, dans les raisonnements, à des théorèmes auxiliaires» (Mugler 1958, p. 269; cfr. uso di *lemma*, *lemmation*, *lepsis*).

Da notare anche il valore tecnico del termine ἀρχή in geometria: esso indica 'il punto di partenza' logico, e il punto di partenza temporale di una costruzione o di un ragionamento geometrico (Mugler 1958, p. 84 s.).

Piccolomini mette in evidenza l'apporto di geometria e filosofia all'argomentazione. Questa è la sua parafrasi del passo: «Quanto poi appartiene al renderne la ragione doviam pigliar due cose dalla Filosofia naturale, delle quali l'una è, che se alcuna cosa è mossa da alcun'altra, e per se stessa non aiuti o conferisca punto a quel moto, necessariamente si moverà per tanto intervallo, quanto il motore la moverà. L'altra cosa, che doviam pigliar dalla Filosofia naturale è che la medesma o la egual potenza servendosi della medesma forza, alle volte più tardi moverà il medesimo peso alle volte più presto» (trad. di Biringucci, p. 89 s.). Piccolomini continua disquisendo anche in base alla teoria dei luoghi e delle direzioni naturali del movimento, e tenendo conto dell'indagine aristotelica riguardo al rapporto tra motore e mosso, tra movimento 'naturale' e movimento 'indotto'; vd. anche Biancani p. 189 s.; Baldi, p. 148 s. Diversa è invece la valutazione di Cardano e di Benedetti, come si è visto (nota 255).

[263] Si torna su una figura geometrica, dopo aver dichiarato i principi su cui deve basarsi l'analisi. Vd. Fig. 20 c, con cui Heath commenta e rielabora le linee 856 a 1-16; tranne le lettere variabili *A* e *B*, indicate anche nel testo, le altre sono assegnate da Heath, che illustra varie possibilità e condizioni del movimento dei due cerchi (1998, p. 248).

Seguo il testo di Apelt che accoglie la lezione del Par. A: ἐφ' ᾧ A (856 a 1). Lo stesso codice ha una lezione migliore (αὐτοῦ) nella linea 856 a 8, accolta da Cappelle, Bussemaker, Apelt e Hett.

[264] Il soggetto del verbo ἐκίνει (l. 9), τὸ κινοῦν, si legge nel Par. A. Lo stesso codice ha κύκλος ὁ μικρός (l. 10). Nell'edizione del 1566 e in Monantheuil si legge ὑποτεροσοῦν (l. 14).

Il testo nelle linee 14-16 è molto problematico e controverso; in alcuni punti se ne è sospettata la corruzione. La traduzione di Vittore Fausto lascerebbe presupporre un testo più ampio, a meno che non si tratti di un intervento esplicativo; d'altra parte anche i commentatori rinascimentali tendono a completare il discorso in modo simile. Come esemplificazione della loro interpretazione può valere la parafrasi di Piccolomini: «Tanto dunque si moverà il maggior circolo, non portato da alcun suo moto, quanto lo porterà il minore movendosi annesso e congiunto con quello. Talché se il minore ha trapassato lo spatio di due piedi, tanto havrà trascorso ancora il maggiore. E simil discorso si deve fare se il maggiore moverà il minore, il qual non conferisca né dia punto d'aiuto al moto; perché il minore sarà portato per tanto spatio, quanto il maggiore lo porterà. Ma se ambedue si moveranno separatamente per se stessi, o muovinsi con celerità o con tardanza, nondimeno con la medesima prestezza e nel medesimo tempo trascorrirà il maggiore maggiore, & il minore minore spatio» (trad. di Biringucci, p. 91).

Bussemaker segnala una lacuna dopo βραδέως di l. 15. Bisogna tuttavia anche tener conto di un modo di esprimersi generalmente molto brachilogico, in questo trattato. Discutibile è anche l'interpretazione dell'avverbio εὐθύς (l. 16), che i commentatori hanno di solito inteso in senso temporale; in Aristotele, il suo uso implica talora un rapporto di causalità interna: qualcosa accade *suapte natura*, senza che intervenga un'altra causa (vd. per esempio *Fisica* VI 6, 237 b 14; *Metafisica* Z 6, 1031 b 31; cfr. Bonitz 1961, p. 296 a 13 ss.).

Alcuni emendamenti sono stati proposti: nella l. 11 Forster legge τοιούτως invece di τὸ αὐτό; nella l. 14 s. Hayduck legge ὁποτερωσοῦν invece di ὁποτεροσοῦν (cfr. l. 20; 848 a 1); così anche Forster che mette una virgola, invece di un punto, dopo καὶ ὁ μείζων, e intende: «So too, if the large circle move the lesser, the lesser circle will have been moved just as far as the large circle, in whatever way the latter be moved, whether quickly or slowly, by its own motion; and the lesser circle will trace out a line at the same velocity and of the same length as the greater traced out by its natural movement». Forster ritiene dunque che il movimento indicato alla l. 14 sia quello del cerchio maggiore, e propone, come altri, una traduzione tesa a integrare e a rendere più esplicito il senso. Monantheuil e Cappelle traducono rispettivamente: «per se quidem motus utrovis modo seu

celeriter seu tarde. Eadem vero celeritate statim per quantam lineam natus est convolvi maior»; «per se quidem utrovis modo, sive celeriter, sive tarde motus: simulac vero motus a majori fuerit, qualem natura sua lineam revolutus percurrere circulus major potest, talem eadem velocitate etiam ipse percurrens».

Hett e Bottecchia conservano la lezione ὁποτεροσοῦν, e interpretano: «(This will be true) whichever of the two circles is moved independently, whether fast or slowly; so the lesser circle will trace a path at the same velocity, and of the same lenght as the greater does»; «Ciò sarà vero qualunque dei due cerchi si sia mosso autonomamente, sia velocemente sia lentamente; così con la medesima velocità nel medesimo tempo il cerchio minore avrà percorso tanto spazio quanto ha percorso il maggiore con il moto che ha per natura». Ancora diversamente, Poselger spiega: «auch wenn der kleinere schon eine eigne Bewegung hat, wie dieselbe sein möge, schnell oder langsam» (1829, p. 88). In realtà, i riferimenti non sono sempre sicuri; anche nella l. 2 s. (μὴ κυλιομένου αὐτοῦ), si può essere incerti se a 'non girare' sia il più grande, come alcuni intendono, o il più piccolo, come mi sembra più probabile, dato anche l'uso del pronome αὐτοῦ; il più piccolo, senza girare, spinge il più grande: l'autore potrebbe distinguere tra un movimento di spinta, e quello di spinta e rotazione insieme (vd. l. 6 s.; cfr. Cappelle, p. 260).

Il principio guida dell'argomentazione è che il corpo mosso si muove quanto il suo motore; oltre alla distanza che percorrono, si prende in considerazione anche la loro velocità. Determinante è pertanto, nei due cerchi così disposti, il movimento autonomo (vd. ll. 8 e 14): il tracciato corrisponde per entrambi allo spazio percorso dal cerchio che si muove autonomamente. L'espressione καθ' αὑτὸν μὲν δὴ κτλ (l. 14) riassume e mette in evidenza questo concetto; subito dopo l'autore esamina il movimento dei cerchi concentrici, in cui la lunghezza del tracciato è in ogni caso sempre uguale.

Per la correlazione μὲν δὴ ... δὲ ... (cfr. 851 a 32 ss.; 851 b 21), vd. J.D. Denniston, *The Greek particles*, London 1996² (1ª ed. 1934), pp. 258 s.; 391 ss.; 472.

[265] Il passo riprende, secondo un'abitudine costante nei trattati del *C. A.*, ciò che si è detto e richiama la 'difficoltà', la 'perplessità', il 'quesito' iniziale: il termine ἀπορία ha tutte queste connotazioni. In esso, si sottolinea che la differenza del comportamento sta nella congiunzione dei cerchi; l'autore tuttavia non si sofferma sulle posizioni e sui vari modi di connessione dei cerchi, considerando preferibilmente il caso dei cerchi concentrici. L'accento resta sulla natura del movimento proprio o indotto.

Il verbo περιτιθέναι (l. 20) designa prima di Euclide, accanto a περιγράφειν che diventerà poi tecnico, «l'opération consistant à pla-

cer une figure autour d'une autre suivant certaines modalités» (Mugler 1958, p. 344); cfr. Aristotele, *Cielo* II 2, 285 b 3; *Categorie* 14, 15 a 30; *Fisica* III 4, 203 a 13; *Topici* I 1, 101 a 15). Il verbo προστιθέναι (l. 20) in geometria indica il sommare due o più grandezze della stessa natura; esso è usato in senso tecnico da Aristotele, vd. *Cielo* III 1, 299 b 27 s.; *Fisica* VIII 10, 266 b 2; *Politica* IV 11, 1295 b 38; Platone, *Menone* 83 a.

Monantheuil espunge, a l. 17, la negazione (οὐκ), considerando quanto accade in cerchi concentrici ed eccentrici («Nam & eccentrici connexi raptum motoris primi sequuntur, & semper orbitarum aequalitas reperietur seu centra sint in eadem linea: seu in diversis», p. 172). Esamina quindi il caso di un moto intorno a un asse, e insiste, come gli altri commentatori, sulla determinante differenza tra *motus circularis* e *motus in circulo* o *per circulum* (p. 173).

[266] Cfr. 855 a 30.

Dei due verbi προσκεῖσθαι (cfr. *Ricerche s. an*. IX 37, 620 b 15; *Parti d. an*. IV 10, 688 a 14; *Riproduzione d. an*. I 4, 717 a 35; *Cielo* II 12, 293 a 10; *Problemi* XXVI 45, 945 a 33) e προσκρέμασθαι utilizzati per indicare la posizione dei cerchi (l. 23), il primo ricorre in altri passi del C. A.; il secondo è invece un *hapax* nel *C. A*. Il verbo ἐνδεῖν (l. 28) ha un uso limitato nel *C. A*., ma è significativamente impiegato in alcuni passi del trattato sul *Cielo*, a proposito della posizione e del movimento circolare degli astri (vd. in particolare II 7, 289 a 32; 8, 289 b 33; 9, 291 a 11; 12, 293 a 7; gli astri 'fissi', *endedemena*, sono contrapposti agli astri erranti, ai pianeti in *Meteorologia* I 8, 346 a 2; *Cielo* II 8, 290 a 19). Poco dopo, si usa un verbo di largo impiego: χωρίζεσθαι (l. 30, cfr. 855 a 30). Queste oscillazioni sono indicative dell'incerto formarsi di un lessico tecnico.

Nell'argomentazione, alla fondamentale distinzione tra 'motore' e 'mosso', si aggiunge la diversità tra movimento coincidente e non coincidente (l. 23 e 25), separato e congiunto, attuale e potenziale, *per se* e *per accidens*.

Hett osserva in nota: «Aristotle's point here is sound though curiously expressed. Joined concentric circles have the same angular velocity, but unequal cogged wheels have different angular velocities» (p. 394).

[267] Anche le obiezioni, le difficoltà, le 'aporie' che possono essere sollevate (ipoteticamente, o realmente da parte di chi ascolta: questi trattati nascono nell'ambito di una scuola) fanno parte dell'argomentazione, che acquisisce le nozioni elaborate in ambito logico: qui opera l'opposizione medesimo/ diverso. Il paralogismo è un ragionamento errato, che si vuole presentare come corretto; l'avverbio σοφιστικῶς (l. 33) ha una connotazione negativa (vd. *Retorica* III 18, 1419 a 14).

Nella risposta, che ha anche una funzione riassuntiva, si dà rilievo all'opposizione tra *kath'auto* e *kata symbebekos*, elaborata in ambito logico e metafisico, cui si fa ampiamente ricorso anche nei trattati minori. Sia il termine 'musico', sia il termine 'bianco' sono usati molto frequentemente per esemplificare ciò che è 'accidentale', vd. *Metafisica* Δ 9, 1017 b 27 s. («il 'bianco' e il 'musico' sono lo stesso in quanto sono accidenti di una medesima cosa»); 6, 1015 b 16 ss.; 7, 1017 a 7 ss.; 30, 1025 a 14-34; M 2, 1077 b 10 s.; *Anima* I 3, 406 a 16-20; *Fisica* I 5, 188 a 35-b 3; *Riproduzione d. an*. I 18, 724 a 26-28.

A l. 35, κέντρον invece di κέντρου è la lezione di alcuni codici. Cappelle, Bussemaker e Apelt, sulla base del Par. A, scrivono: τῷ γὰρ εἶναι ἑκατέρου κέντρον κτλ. Per l'uso idiomatico del verbo χρῆσθαι, cfr. l. 27.

Alla fine si insiste sul movimento del centro; si rende così più evidente una certa ambiguità, e confusione, insita nel discorso, e relativa al 'percorso del cerchio', come fa notare Hett: in tutta l'argomentazione non è chiaro se l'autore tenga presente il movimento del centro, oppure il movimento di un punto della circonferenza, cioè per esempio il tracciato di un cerchio su una strada. Hett ritiene più probabile l'ultimo caso, e aggiunge: «It is not easy to be sure whether he has seen the true solution of this problem, viz.: in one case the circle revolves on ΗΘ, while the larger circle both rolls and slips in ZI» (p. 394).

[268] Coerentemente con l'essenziale distinzione tra *kath'auto* e *kata symbebekos*, si ribadisce la differenza tra 'assoluto' e 'relativo', secondo un'impostazione filosofica e fisica. D'altra parte, l'argomentazione di questo problema rivela intuito matematico, come mette in evidenza Heath, soffermandosi sulle osservazioni contenute nelle linee 855 b 26-28; 855 b 28-30; 856 a 34. Riguardo all'ultimo passo, Heath precisa: «The length the centre describes depends simply on which of the two circles is actually being rolled along its tangent; how the other circle actually rolls is irrelevant to this–the movement of the other circle is incidental» (1998, p. 250).

I commentatori rinascimentali hanno sviluppato il problema in modo molto articolato, seguendo l'impostazione aristotelica, o contrapponendosi a essa (vd. la nota 255), stabilendo nuovi principi, o dando rilievo ad alcuni concetti. Questi sono i temi, suggeriti dal testo o enucleati da esso, più ricorrenti nella loro analisi: la diversa 'attitudine' delle cose a seguire una direzione piuttosto che un'altra; movimenti più veloci, 'aiutati', e movimenti più lenti, 'ritardati'; movimento di cerchi concentrici ed eccentrici; movimento *per se* e *per accidens*; movimento intorno a un punto o intorno a un asse; movimento circolare con centro fisso o in movimento; movimento circolare e movimento rettilineo; varie posizioni dei cerchi e possibili casi legati a dimensioni e pesi diversi.

Sono stati spesso i loro commenti, più che la lettura dell'opera arsitotelica (oppure, in aggiunta a essa), a suscitare l'interesse per questo problema in altri autori che l'hanno a loro volta ampliato, o che se ne sono serviti come supporto per altre questioni, sulla base di una analogia. Drabkin (1950) ricostruisce con efficacia gli incontri, gli scambi epistolari, le discussioni di chi se ne è occupato nel Seicento e nei primi del Settecento: ricordo solo qualche nome, a integrazione di quelli già ricordati nell'introduzione: Marin Mersenne; Gilles-Personne de Roberval; Pierre de Fermat; André Tacquet; René Descartes; Robert Boyle; Jean-Jacques Dortous de Mairan; Bernard Le Bouyer de Fontenelle.

Nell'introduzione si è accennato alle lettere che Giovanni di Guevara scrisse a Galileo per chiedergli «qualche cenno» sulla difficile questione. «Guevara risolveva la difficoltà facendo osservare che il cerchio trasportato percorreva sempre in linea retta uno spazio eguale a quello percorso dal cerchio deferente o trasportatore ruotando sul piano, poiché quello si spostava non in virtù della propria rotazione e per una distanza commisurata alla propria circonferenza, ma per il fatto di essere trascinato e trasportato; e pertanto avanzava in linea retta tanto, quanto veniva trascinato e trasportato dal cerchio deferente, sebbene nello stesso tempo descrivesse un circuito maggiore o minore, del quale non si doveva tenere alcun conto. Nel caso del cerchio deferente o trasportatore, che rotolava sul piano per virtù propria, esso percorreva in linea retta uno spazio commisurato alla sua circonferenza, poiché tutto il suo movimento in avanti veniva fatto in virtù della propria rotazione» (Carugo 2005, p. 332).

Galileo discusse il paradosso nella *prima giornata* dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Mecanica & i Movimenti locali*. Salviati, interlocutore di Sagredo, così introduce la discussione: «Orsù, già che si è messo mano a i paradossi, veggiamo se in qualche maniera si potesse dimostrare, come in una continua estensione finita non repugni il potersi ritrovar infiniti vacui; e nell'istesso tempo ci verrà, se non altro, almeno arrecata una soluzione del più ammirabil problema che sia da Aristotele messo tra quelli che esso medesimo addimanda ammirandi, dico tra le questioni mecaniche; e la soluzione potrebbe esser per avventura non meno esplicante e concludente di quella che egli medesimo ne arreca, e diversa anco da quello che molto acutamente vi considera il dottissimo Monsig. di Guevara. Ma bisogna prima dichiarare una proposizione non toccata da altri, dalla quale depende lo scioglimento della questione, che poi, s'io non m'inganno, si tira dietro altre notizie nuove ed ammirande: per intelligenza di che, accuratamente descriveremo la figura» (ed. Favaro, vol. VIII p. 68; vd. Fig. 20 d). Il paradosso è affrontato in connessione col problema della struttura della materia:

«Partendo dall'ipotesi che la materia sia infinitamente divisibile, non solo potenzialmente ma attualmente, e che ogni corpo solido contenga un numero infinito di atomi, Salviati [...] solleva la questione se in una estensione finita possa esistere un numero infinito di vuoti [...] Sulla base dell'analogia con la ruota di Aristotele, Galileo illustrava la sua concezione dei corpi solidi come composti da un numero infinito di atomi o particelle infinitesime e indivisibili, separate da un numero infinito di spazi vuoti non quanti ossia anch'essi infinitesimi. Tale concezione gli permetteva di spiegare l'espansione e la rarefazione dei solidi» (Carugo 2005, pp. 333; 335). Carugo si sofferma sulla critica rivolta da Mersenne, Fermat e Descartes alla soluzione galileiana e osserva che le critiche «non coglievano il punto centrale della discussione di Galileo, il quale cercava di spiegare la corrispondenza punto per punto tra linee di lunghezza diseguali mediante una considerazione della natura del continuo e dell'insieme infinito di punti contenuti in esso. Era appunto questo il problema sul quale Guevara aveva chiesto delucidazioni a Galileo nella sua lettera del 24 gennaio 1628 [...] Con la sua discussione del problema della ruota Galileo, più di ogni altro matematico che se ne era occupato, andava al cuore della difficoltà, ed anche se non la risolveva definitivamente, la esponeva con la massima chiarezza. Inoltre, il modo in cui affrontava il problema di definire un insieme infinito come quello che poteva essere messo in corrispondenza biunivoca con una parte di se stesso, anticipava la teoria degli insiemi di Cantor» (p. 338; cfr. Drabkin 1950, pp. 179 ss.; 186 ss.; Heath 1998, p. 250 ss.)

L'analisi del paradosso è stata ripetutamente affrontata, nella scienza, cercando una risposta a come potessero essere pensate la rarefazione e la condensazione di una massa, le questioni relative al *continuum*, alla corrispondenza delle linee punto per punto, alla struttura della materia; ad alcuni di questi interrogativi è legata anche la discussione del paradosso di Zenone, paradosso noto col nome di 'Achille' (vd. Poselger 1829, pp. 71-74; Drabkin 1950, pp. 166; 197 s.).

[269] Questo difficile problema pone domande che hanno a che fare con una 'curiosità', relativa alla costruzione dei letti.

Il letto, insieme con il tavolo, è portato a esempio di un manufatto artigianale nella *Repubblica* di Platone (X 596 a ss.), nel celebre passo in cui si argomenta sulla *mimesis* artistica e sulla sua distanza dalla realtà e dalla verità. Anche Aristotele lo porta ad esempio di un oggetto della *techne*, contrapposto alle opere della *physis* (*Fisica* II 1, 192 b 16; *Problemi* X 45, 895 b 34; cfr. *Parti d. an*. I 1, 640 b 23; *Etica Nicomachea* V 8, 1133 b 23).

La posizione che il corpo dovrebbe avere in un letto fa parte di quel bagaglio di norme igieniche e comportamentali che la medicina

antica ha espresso; vd. per esempio Ippocrate, *Prognostico* 3, II p. 118 L.; Diocle, fr. 141, p. 182 W.; Galeno, *Commento al Prognostico di Ippocrate* I 13, XVIII B p. 55 ss. K. Se ne ha un riflesso anche nei *Problemi*: «Perché è meglio coricarsi col corpo piegato (per lo meno, sono molti i medici che lo raccomandano)? [...]» (VI 3, 885 b 26 ss.). Sempre nei *Problemi*, in passi che ci ricordano anche l'uso del letto nei simposi, ci si chiede perché il sonno venga più facilmente se ci si distende sul fianco destro, mentre da svegli ci si stende sul lato sinistro (VI 5, 886 a 3 ss.), o ancora perché sia piacevole distendersi sul fianco sinistro, ma si dorma preferibilmente sul destro (VI 7, 886 a 15 ss.). Viene indagato anche il diverso effetto che ha lo sdraiarsi su superfici diverse, in relazione alla conformazione del corpo (V 11, 881 b 28 ss.).

I quesiti sono due; il primo, riguardante le dimensioni, viene subito risolto: esso deve adattarsi alla dimensioni del corpo. Il termine *symmetros* (l. 3) ha valenze tecniche in filosofia, in geometria, nell'arte; qui tuttavia non viene indagato in nessun modo il rapporto di *symmetria*: l'argomentazione si concentra sul secondo quesito, cioè sulla disposizione delle corde.

[270] Del secondo quesito vengono proposte tre possibili soluzioni. La prime due attingono a un ambito fisico: si tiene conto della maggiore resistenza del legno, sia quando viene lavorato (l. 6 ss.), sia quando deve sostenere il peso di chi vi si stende sopra (l. 8 ss.). La terza risposta (l'impiego di una minore quantità di corda, o di corde più corte) si articola invece attraverso una dimostrazione geometrica.

Lo scoliasta (*ad* 856 b 7) si sofferma su κατὰ φύσιν (l. 7), precisando che così accade, quando il legno viene diviso ἀπὸ τοῦ ἄκρου; vd. Bottecchia 1982, p. 165.

Cappelle fa notare la distinzione tra i termini λοξός (l. 9) e πλάγιος (l. 10), in questo passo (p. 269); cfr. Mugler 1958, pp. 277 s.; 348.

[271] Vd. Fig. 21. La figura è tratta da Forster (1913), che a sua volta la riprende da Cappelle; la stessa è stampata nell'edizione di Hett. Apelt rinuncia invece a proporre una figura, data l'incertezza del testo («figuram in re incerta non addidimus», p. 130, *ad* 856 b 7), riconosciuta da tutti gli editori e commentatori. Baldi, più lapidariamente di altri commentatori rinascimentali, denuncia l'oscurità dell'argomentazione inutilmente complicata e involuta, e lascia ad altri il compito di risolvere la questione («Nos interim ne inutilem fere speculationem nimia diligentia [...] prosequamur, alijs difficultatem hanc dissolvendam aut ceu Gordij nodum gladio scindendo relinquemus», p. 153 s.). Poselger rinuncia a una traduzione: «Dies Capitel ist in seiner gegenwärtigen Gestalt unübersetzbar» (1829, p. 89). Vd. anche la nota 274.

[272] Oppure: 'due sono gli angoli con i capi della corda'. L'espressione ὡς γέγραπται (l. 14) è di grande interesse: si è fatto un disegno e si descrive quello che da esso risulta, in modo tuttavia sommario. Si individuano 'uguaglianze', 'metà' e 'doppi', ma non si dimostra perché e su quale base si possano stabilire quei rapporti. La difficoltà di questo problema è proprio connessa con il fatto che in esso si procede, senza rendere evidenti tutti i passaggi logici: come accade ripetutamente nei trattati soprattutto minori del *C. A.*, l'argomentazione è sufficientemente chiara nelle sue linee generali, ma sfuggono i dati più precisi, i dettagli che consentirebbero di capire, in questo caso, come si arrivi a dimostrare ciò che ci si è proposti. Inoltre non sempre si completa il pensiero: il più delle volte, le indicazioni rimangono allo stato di abbozzo, di spunto: si dà un avvio, quasi che l'argomentazione fosse destinata a essere completata oralmente, o da chi ascolta.

A l. 14, non si esplicita di che cosa la linea ZH sia il doppio, se di ZB (in riferimento alla divisione a metà, di cui si è parlato) o di ZA (considerando il rapporto uno a due dei lati). Il ragionamento può essere stato duplice: se ZH è il doppio di ZB, ed è anche il doppio del lato ZA, ne consegue che ZB e ZA sono uguali. Oppure: se ZH è il doppio di ZA, ed è anche il doppio di ZB, ZA e ZB sono uguali. È forse più probabile che si sia seguito il primo sillogismo.

Cappelle si sofferma sulla disposizione delle corde, tentando di ricostruire inizio e procedimento (p. 269 s.; vd. anche Biancani, p. 190 s., che propone un'interessante ricostruzione; Forster 1913, *ad loc.*), e di colmare i 'vuoti': il testo accenna solo a qualche passaggio della corda da una parte all'altra, senza completarlo, e a due angoli in cui vanno a finire i capi della corda. Nel complesso si può tuttavia intuire la successione.

[273] In questa parte, invece, è molto più difficile seguire il ragionamento. L'argomentazione può basarsi sulle proprietà dei lati e degli angoli del parallelogramma individuato, e sui rapporti di uguaglianza stabiliti attraverso il parallelismo delle linee. I commentatori rinascimentali hanno sviluppato la trattazione, facendo riferimento agli *Elementi* di Euclide (I 5; 13; 15; 18; 29; 30; 32; 33; 34). Heiberg (1904, p. 30) stabilisce questi confronti: tra le ll. 24 καὶ ἡ μὲν β – 25 ὀρθή e gli *Elementi* I 5 e I 32; tra le ll. 20 ἡ μὲν γὰρ AB – 22 χωρίου, l. 28 s. ταύτῃ – παράλληλος γάρ e I 34 («Sia i lati sia gli angoli opposti dei domini parallelogrammatici sono uguali tra loro, e la diagonale li seca a metà»); tra le ll. 23 ἡ γὰρ β γωνία – 24 ἡ δὲ ἐντός e I 29.

La spiegazione dell'uguaglianza tra l'angolo in B e l'angolo in H sembra duplice: prima è stabilita in base all'uguaglianza e al parallelismo di BH e KA, lati opposti del parallelogramma; poi sulla base della misura dell'angolo in Z, di 90°. Considerando che il letto è un ret-

tangolo con i lati nel rapporto di uno a due, e che, in B, il lato più lungo è bisecato, AZB costituisce un triangolo rettangolo con i due cateti uguali, pertanto B è la metà di un angolo retto.

Da notare che la dimostrazione riguarda in genere o una metà, o un lato o una sua parte.

Il testo è controverso in più punti. A l. 23, il nesso ἐν ἴσοις lascia perplessi; nel Par. A si legge: ἐν παραλλήλοις. Cappelle non accoglie nel testo questa lezione che gli sembra giustamente una glossa; traduce tuttavia «in parallelis», nella convinzione che sia in ogni caso questo il significato da attribuire al nesso ἐν ἴσοις. A conferma (p. 270 s.), cita un passo degli *Analitici secondi* I 5, 74 a 13-16, in cui è utilizzato il termine ἴσαι, passo peraltro discusso, in quanto non è certo se esso si riferisca a linee rette o ad angoli retti. Così interpretano anche Monantheuil (che ricorda lo stesso passo degli *Analitici*, vd. p. 183) e Bussemaker. Heiberg considera necessario accogliere la lezione παραλλήλοις (1904, p. 30). Forster traduce: «for the exterior angle of a parallelogram is equal to the interior opposite angle»; Hett: «for the exterior angle of a parallelogram is equal to the interior and opposite»; Bottecchia: «poiché nel parallelogramma uno è l'angolo esterno, l'altro l'angolo interno».

A meno di non accogliere la lezione del Par. A, o di emendare ἐν ἴσαις (scil. γραμμαῖς/ παραλλήλοις), o intendere ἐν ἴσοις (scil. σχήμασι/ χωρίοις – per l'uso di questo secondo termine, vd. l. 22; 852 a 18; Euclide, *Elementi* I 34), si può dare al nesso ἐν ἴσοις un valore avverbiale: 'in corrispondenza', rispetto al parallelismo considerato, alle rette; 'date le condizioni di uguaglianza' individuate; 'a parità di condizioni' (cfr. *Problemi* XXIX 15, 953 a 1). Sembra utile il confronto con Euclide, *Elementi* I 29 («Una retta che incide su rette parallele fa sia gli angoli alterni uguali tra loro che quello all'esterno uguale all'interno e opposto che quelli all'interno e dalla stessa parte uguali a due retti»); I 28 («Qualora una retta che incide su due rette faccia un angolo all'esterno uguale a quello all'interno e opposto e dalla stessa parte o quelli all'interno e dalla stessa parte uguali a due retti, le rette saranno parallele tra loro»).

Per l'uso di ἴσος in questo trattato, vd. 853 b 38; 858 a 1, e le note 229; 288; 291.

A l. 28, i codici hanno ΑΓ (che non dà un senso accettabile), con esclusione del Par. A, che ha la lezione ΒΓ, accolta da alcuni editori. Si potrebbe forse leggere ΑΔ; così fa Monantheuil (vd. anche la traduzione di Leonico Tomeo). Come i rapporti stabiliti possano comportare un 'risparmio' di corda, non viene detto. Tenta invece di farlo Piccolomini, con una articolata argomentazione geometrica e matematica, generalmente apprezzata dai suoi contemporanei, che si basa anche sulle proposizioni euclidee (*Elementi* I 34 e I 47), pur

sottolineando, come tutti gli interpreti, la difficoltà del testo «così scorretto, che Aristotile in questo luogo può parer difficilissimo. E ben che habbiam ricercato molte librarie di gran nome per l'Italia, e da diversi esemplari trovati emendato molte scorrettioni delle questioni Mecaniche, nondimeno non habbiam possuto veder alcun testo dal quale ne sia stato lecito haver le parole precise di questo luogo. Confessiam bene haver ricevuto molto lume da un testo assai antico, della libraria di S. Marco di Venetia, il quale habbiam letto diligentemente, & è stato certo, se non quanto bisognava per intendere & estricar la testura delle parole, almeno tanto che ne ha porto occasione assai secura per conseguir il senso e la vera intention d'Aristotile» (trad. di Biringucci, p. 93 s.; viene proposta anche una figura con un reticolato diverso).

Il termine ἀπόδειξις (l. 20; cfr. δείκνυνται, l. 30) è frequente in Aristotele, soprattutto negli *Analitici secondi*: l'uso tecnico in geometria, nel senso di 'dimostrazione matematica', è strettamente collegato con questa valenza logica; vd. Mugler (1958, p. 74) che ricorda, tra le attestazioni più antiche di questo uso, i frammenti di Democrito (68 B 299, II p. 208, 9 D.-K.) e di Archita (47 B 4, I p. 438, 9 D.-K.). La descrizione ha qui un valore dimostrativo.

[274] «In hoc labyrintho sine certo duce errare non libet»: così commenta significativamente Cappelle (p. 271). Si può tuttavia trarre questo senso generale: la quantità (o lunghezza) della corda necessaria nel primo caso considerato, sta alla quantità (o lunghezza) necessaria nel secondo (vd. Fig. 21 a; 21 b), come AB sta a AZ+ZB (vd. Fig. 21). Il percorso che porta a questa conclusione non è chiaro. La maggior parte dei commentatori rinascimentali illustrano il secondo caso prospettato, considerando il rapporto tra i lati e la diagonale secondo il notissimo teorema di Euclide: «Nei triangoli rettangoli il quadrato sul lato che sottende l'angolo retto è uguale ai quadrati sui lati che comprendono l'angolo retto» (*Elementi* I 47).

Piccolomini, con la propria argomentazione, molto ampia e articolata, arriva a un calcolo preciso della corda 'consumata' nei due casi, ma avverte alla fine: «Onde si può manifestamente concludere che è vero quanto dice Aristotile, che più funi si consuma intessendole secondo il diametro. Si deve nondimeno avvertire, che nelle descritte figure dei letti ho posto le lettere in tutte le divisioni dei lati, se bene Aristotile non le mette in tutte; percioché lui fa la demostratione solo de la metà dei letti, quasi che ciascuno possi argumentar del restante per se stesso; ma io ho fatto la demostratione e descrittione integra. Confesso bene il testo della questione essermi stato difficilissimo, ma è cosa certa che o vero Aristotile intende una delle demostrationi da noi dichiarate, o se non intende quelle, quelle almeno concludeno il proposito suo senza alcuna dubitatione» (trad. di Biringucci, p. 98

s.). L'atteggiamento dei commentatori rinascimentali di fronte a questo difficile problema è stato infatti in genere duplice: completare il discorso con le dimostrazioni geometriche ritenute necessarie, o dimostrare che ci sarebbe stato un modo più semplice sia per risparmiare corda, sia per evitare danni; vd. Leonico Tomeo, ff. XXXXVII v.-XXXXIX r.; Piccolomini, ff. LIIII r.-LVIII v.; Guarino (ff. I-I 2); Monantheuil, pp. 175-183; Biancani, p. 190 s.; Baldi, pp. 150-154; Guevara, pp. 224-228.

In genere, tutti i commentatori hanno dato rilievo alla possibilità di corruzioni testuali. Cappelle, di fronte alle difficoltà, dichiara che è impossibile «ipsa Auctoris verba restituere sine meliorum Codicum auxilio» (p. 270). Forster (1913) inserisce tra parentesi tutto il passo 856 b 20 ἡ μὲν γὰρ AB - 857 a 4 definendolo «unintelligibile as it stands»; ancora meno intellegibili, e irrimediabilmente corrotte, considera le linee 856 b 34 ὥστε - 857 a 4. Anche Hett giudica incomprensibile soprattutto la parte riguardante la disposizione in diagonale; avanza tuttavia l'ipotesi che la maggiore quantità di corda, richiesta in questo caso, sarebbe dovuta al congiungimento dei fori rimasti non impiegati, nel lato più lungo (p. 398 s.; vd. Fig. 21 c; le lettere, ad eccezione di ΑΒΓΔ, sono assegnate arbitrariamente da Hett).

Bisogna in ogni caso tener conto anche dello stile, del modo di esprimersi brachilogico, di un'argomentazione che suggerisce, ma che non completa: l'emendamento, in testi come questo, è ancora più problematico. Nella linea 857 a 1, Cappelle propone in apparato di leggere τοσαῦτα (cfr. 856 b 36) invece di τὰ ἴσα (la proposta è accolta da Forster, 1913, *ad loc.*). Gli scambi delle lettere variabili costituiscono come si è visto una frequente possibilità. A l. 857 a 1, propongo di emendare ZH in ZB: l'autore sembra prendere in considerazione ancora una volta solo una metà.

[275] Questo problema e il successivo affrontano questioni simili, legate al trasporto di oggetti.

Come altrove, gli effetti diversi, notati nei due casi, sorprendono e richiedono un'indagine, dato che il peso da sostenere è lo stesso (cfr. l. 22); in realtà, il peso varia, come si dice poco dopo.

[276] Il verbo σαλεύειν/ σαλεύεσθαι indica propriamente l'ondeggiare, il rollare delle navi per il moto ondoso, o anche il camminare ondeggiando, il vacillare. Esso è usato da Aristotele nella *Meteorologia* come sinonimo del movimento *ano kai kato* (II 2, 356 a 3); particolarmente significativo è il confronto con un passo dei *Problemi* V 24, 883 a 29-883 b 2 (il verbo ricorre con diatesi diversa nelle ll. 34, 38, 40), in cui si considera il diverso gravare del peso del corpo sulle cosce o sulle gambe, a seconda che si scenda o si salga, proponendo anche il paragone con ciò che accade «quando spostiamo pesi con le spalle, o li teniamo sopra di esse, e in conseguenza lo sforzo è avver-

tito soprattutto alla spalla» (ll. 34-36). Nella *Fisiognomica*, si leggono i suoi composti con diversi preverbi, per indicare il modo di incedere di alcuni uomini e animali (809 b 32; 813 a 11; a 13). Il sostantivo σάλευσις (cfr. l. 24 s.) è invece usato solo in questo trattato, nel C. A.

Si analizza qui sostanzialmente un movimento alterno, verso l'alto e verso il basso; nell'ambito di una spiegazione geometrica, sembra insinuarsi una considerazione fisica, anche se l'oscillazione del legno non viene collegata con una sua proprietà fisica (con l'elasticità, in questo caso), ma solo con il suo movimento, facilmente osservabile. Si nota d'altra parte che la prima risposta, che potrebbe apparire più tecnica e più specifica, viene in un certo senso corretta o tralasciata a favore di una più generale: la spiegazione si articola intorno alla coppia di contrari alto/ basso, leggero/ pesante, e al principio della reciprocità dei movimenti, assimilati a quelli di una bilancia. Si riprende, abbreviandola, l'argomentazione condotta in modo più dettagliato nel problema nr. 16, 853 a 5 ss. Significativamente, i commentatori rinascimentali integrano la spiegazione «Mechanicis principijs» per renderla più chiara ed esauriente (vd. Baldi, p. 156 ss.).

[277] La lezione del Par. A, ἐκ μέσου ἢ ἀπ' ἄκρου, è accolta dalla maggior parte degli editori; vd. anche la traduzione di Leonico Tomeo: «ex medio elevatur quam ab extremo» (cfr. la nota di Sylburg, p. 303 s.; Monantheuil, p. 183).

[278] Anche in questo caso gli editori accolgono la lezione del Par. A: ἐφ' ἕν. ἔστω μέσον τοῦ ξύλου ὅπερ αἴρεται ἢ φέρεται ἐφ' οὗ A, ἄκρα ἐφ' ὧν ΒΓ.

[279] Vd. Fig. 22. Commenta Piccolomini: «Percioché il B per esempio andando al basso inalza il C & insieme dal C che scende al basso è inalzato, non che nel medesimo tempo ascenda e discenda, perché questo è impossibile, ma mentre che un'estremità s'affatica d'elevare l'altra, ambedue insieme aggravandosi & elevandosi fanno quasi un equilibrio, & essendo, che dall'abbassarsi, e dal torcersi uno degli estremi proceda la fatica di chi lo porta è necessario, che quando non prevale alcuna depresssione da qual si vogli parte, che il portatore senti manco fatica, e perciò porti il legno più facilmente che se l'inalzasse o portasse tenendolo per una delle estremità, perché allhora tutto il peso inclinerebbe al basso non essendo alcuna parte d'esso elevata. Di sorte che tal modo di portare sarà molto faticoso, perché tutte le parti del legno nuoceno e nessuna giova» (p. 100 s.).

[280] L'oscillazione viene ora addotta come vera causa di ciò che accade. Baldi osserva che essa affatica il portatore per due motivi: sia perché il continuo movimento in su e in giù impedisce il cammino del portatore, sia perché «duplici pressione gravetur ferentis humerus, quod Philosophus non animadvertit» (p. 158). Come nel caso

precedente, si immagina l'asse di legno come equivalente ai due bracci di una bilancia. Il riferimento al principio interpretativo più volte adottato è qui più esplicito: i due bracci sono riconducibili a raggi di un cerchio; pertanto, a una maggiore distanza dal centro (il punto d'appoggio sulla spalla) corrisponde un maggior movimento, cioè, in questo caso, una maggiore oscillazione.

Longo (2003, p. 73 s.) si sofferma su questo problema, portandolo come esempio di un ricorrente schema in cui predominano i fattori 'geometrici': «Sarebbe banale, anche se legittimo, osservare che la maggiore "oscillazione" di cui parla l'autore è anche effetto del crescere dell'elasticità dell'asse all'aumentare della sua lunghezza [...] E qui sarebbe da chiedersi in che misura la fisica antica arrivò a individuare il principio di elasticità [...] l'autore concepisce in effetti l'asse in questione come un corpo rigido, e non elastico, benché egli parli correttamente di "oscillazione" [...] Né potrebbe essere diversamente, perché nell'equiparare i due "bracci" dell'asse a due raggi del cerchio, ogni fattore che non sia geometrico, e in primo luogo l'elasticità del corpo, va tenuto in non cale. Così come in non cale sembra tenuta anche l'eventualità che il peso dell'asse possa essere direttamente proporzionale alla sua lunghezza, per cui un asse più lungo sarebbe in ogni caso più difficoltoso da trasportarsi in quanto anche più pesante».

[281] Vd. Fig. 22.

[282] Vd. la prima questione, e *passim*. L'uso del neutro τὸ ἐκ τοῦ κέντρου ἢ τὸ ... ἢ καὶ τὸ κτλ. (l. 31 s.), invece della più usuale formula ἡ ἐκ τοῦ κέντρου / αἱ ἐκ τοῦ κέντρου, utilizzata immediatamente prima per indicare il raggio, suggerisce una differenziazione: il neutro può essere in relazione o con *megethos*, o con *xylon*; l'autore sembra tornare alla concretezza dell'oggetto, dopo averlo descritto geometricamente.

[283] Il bilanciere è una delle macchine più antiche, e più comuni nel mondo antico, e in certe aree ancora oggi, per attingere acqua dai pozzi; cfr. Erodoto I 193, 1; VI 119, 3 (in questo secondo caso, il suo uso non è destinato al sollevamento dell'acqua); Aristofane, fr. 697 K.-A. Si tratta di un congegno costituito da una lunga pertica di legno, una sbarra, una trave oscillante, con un secchio all'estremità e un contrappeso (di piombo o di pietra) dall'altra. Il nostro termine 'bilanciere' indica genericamente ogni strumento che compia oscillazioni intorno a un asse o a un perno; 'mazzacavallo' è un altro nome dell'altaleno, sia come macchina da guerra, sia come dispositivo per attingere acqua dai pozzi: essenzialmente si tratta di una leva. Sui nomi e sugli usi, antichi e moderni, di questa macchina si soffermano i commentatori rinascimentali con ampi riferimenti anche ai testi greci e latini, e con interessanti illustrazioni.

Se non sempre è facile individuare un ordine logico di successione delle questioni, si può in questo caso pensare che proprio la caratteristica di oscillare possa aver determinato qui la trattazione del bilanciere, dopo due problemi che fanno riferimento a questo tipo di movimento.

A l. 36, il riferimento al peso del secchio (ὄντος βάρους ...) può far nascere un equivoco; non può trattarsi in ogni caso dell'aggiunta di un peso dalla stessa parte del secchio, perché sarebbe assurdo: il contrappeso è posto sul braccio corto. L'autore sfrutta un po' maldestramente una formula, con cui ha ripetutamente sottolineato la 'meraviglia' che nasce dall'osservare effetti inattesi, e apparentemente contradditori, date certe premesse o circostanze.

284 Seguo qui il testo di Cappelle e di Apelt, basato sulla traduzione di Leonico Tomeo: «Quamobrem faciliora hoc modo ambo sunt quam illo».

Il vantaggio che deriva dal congegno è espresso in modo non preciso, senza specificare il funzionamento della macchina: il ragionamento si basa sul principio della compensazione e dell'equilibrio, spesso richiamato negli scritti aristotelici, soprattutto nell'ambito della biologia (vd. per es. *Parti d. an*. II 7, 652 a 32 s.; *Problemi* X 6, 891 b 4 ss.; 25, 893 b 17 ss.): la discesa del secchio vuoto è meno facile e meno veloce, secondo una correlazione più volte stabilita; in compenso è più facile e veloce la risalita del secchio pieno. Si potrebbe osservare che se l'asta è in equilibrio, è richiesta una minore fatica in ogni fase dell'operazione. Longo commenta: «perché il secchio vuoto cali nel pozzo vincendo la resistenza ponderale del contrappeso, è necessario esercitare a mano una per quanto modesta trazione verso il basso sulla corda cui il secchio è appeso. Una tale trazione non è invece richiesta nel sollevamento del secchio pieno, che è opera del contrappeso; si tratterà semmai, al contrario, di frenarne la risalita perché questa non sia troppo rapida. In ogni caso, il meccanismo andrà di volta in volta adattato e commisurato alla profondità del pozzo (o della fonte d'acqua), e alla capacità del secchio, tutti elementi di cui si dovrà tener conto nel decidere la lunghezza dei due bracci e il peso del contrappeso. Con l'esempio del bilanciere, il nostro autore, pur rimanendo in linea di principio fedele alle norme 'geometriche' enunciate, viene inevitabilmente, anche se implicitamente, a dimostrare come esse vengano disattese, e superate, nella pratica, anche quando si tratti di una "macchina" che proprio alla "bilancia" si ispira anche più di altre» (2003, p. 79 s.).

Sulla «breve fatica» richiesta nel calare il secchio vuoto in presenza di un contrappeso, e sulla «commodità» che ne deriva, si sofferma a lungo Piccolomini, parafrasando l'autore: «Il che avviene circa l'istrumento da noi descritto, essendo che prima poco ci nuoce il peso

G nel mandar al basso il vase voto, perché adoperiamo una lieva lunga, essendo più lunga la linea CB che la linea CA ma ci sarà poi di grandissimo giovamento quel medesmo peso quando cavaremo il vase pieno. talché se riguardaremo separatamente queste due parti dell'opera cioè il calare, e l'inalzare il vaso è cosa chiara, che il peso G rende la prima alquanto più difficile e l'altra molto più facile e commoda» (trad. di Biringucci, p. 104 s.). Baldi invece pur definendo «lucidissima» la soluzione di Aristotele, propone un ampliamento introdotto da una frequente formula di deferenza nei confronti del 'Filosofo': «Nos autem luci ipsi lucem aliquam adhuc afferre conabimur» (p. 159). Dà così una spiegazione tecnica del funzionamento del bilanciere, come leva (cfr. Biancani, p. 193); descrive un altro congegno adatto a tirar su l'acqua dai pozzi (la «trochlea»), e accenna alla macchina da guerra che ha la stessa struttura (p. 160 s.).

In questo problema, come si è detto, sembra che l'autore rinunci a impostare il discorso sulla base delle analogie più volte stabilite, e su una dimostrazione geometrica, e che applichi invece, o meglio tenga generalmente presente, una generica 'legge' della compensazione. Inoltre, l'autore preferisce concentrarsi su aspetti pratici legati al bilanciamento del peso, e strettamente connessi con ciò che all'inizio del trattato è stato dichiarato come inerente all'uso delle macchine: il vantaggio (*to chresimon*). Questo concetto è qui espresso dal verbo *lysitelein* (l. 1): 'è utile', 'conviene', 'è preferibile' rendere di poco più lenta la discesa del secchio 'in vista di' un guadagno nella risalita. Si guarda al fine e si confrontano i risultati (vd. *pros*, l. 2).

[285] Il tema del trasporto a spalla viene ripreso (vd. i problemi nr. 26 e 27), e discusso applicando nella spiegazione il principio della leva, questa volta in modo esplicito. Si tratta, osserva Heath, del problema di trovare la risultante di due forze parallele che agiscono nello stesso senso. L'autore lo affronta pensando a una leva «where C is the fulcrum, the burden borne by the nearest man the 'weight' raised and that borne by the other the 'power' supporting the weight» (1998, p. 252 s.; vd. Fig. 23).

La sintassi della l. 11 s. (ἀλλὰ κτλ) è faticosa, ma il senso è chiaro. Segnalo la la lezione del Par. A: ὅτῳ, invece di ὅσῳ.

[286] Anche in questo caso si prende in considerazione una condizione di equilibrio: il peso è distribuito ugualmente tra i due.

Il problema dei trasportatori è brevemente trattato da Erone (*Meccanica* I 25; 30). Vitruvio lo affronta in un passo che costituisce anche una significativa testimonianza letteraria, oltre a quelle epigrafiche e iconografiche, sull'attività dei *phalangarii* (il termine *phalanga* indica una stanga, una lunga e solida pertica, per portar pesi), riuniti in corporazione in età imperiale. «Per quanto riguarda i carichi più pesanti, quando gruppi di sei o di quattro trasportatori li portano

con le pertiche, il punto di equilibrio passa per un asse che coincide esattamente con il punto medio fra le pertiche, in modo che, distribuendo il peso complessivo del carico secondo un criterio di distribuzione ben preciso, ciascun operaio regga sulle spalle una frazione di peso uguale a quella degli altri. Nelle parti centrali infatti, alle quali sono applicate le cinghie dei trasportatori, le pertiche sono delimitate da chiodi, per evitare che le cinghie scivolino da una parte, poiché quando queste avanzano oltre il limite del loro asse, fanno pressione sul punto a cui si sono maggiormente avvicinate, come fa il peso su una stadera quando nella messa in equilibrio avanza verso i punti estremi della pesatura» (*Architettura* X 3, 7). Subito dopo, viene trattato il problema del giogo e del trasporto con animali da soma: «È per lo stesso principio che le bestie da soma, se i loro gioghi sono aggiustati al centro con le apposite cinghie attaccate, tirano carichi di peso uguale; ma quando la loro forza è diseguale e quella dei due che ne ha di più schiaccia l'altra, si sposta la cinghia e si allunga una parte del giogo, il che aiuta la bestia più debole. Così sia nelle pertiche sia nei gioghi quando le cinghie non sono legate al centro ma da un lato, in rapporto a quanto si allontana dal centro, la cinghia accorcia un lato e allunga l'altro. Per questo motivo, se ambedue le estremità verranno fatte girare avendo come centro quel punto in cui è stata fatta arrivare la cinghia, il lato più lungo descriverà una circonferenza più grande, quello più corto una più piccola» (*ibid.* 8). Segue, subito dopo, la questione dei cerchi disuguali, che nella *Meccanica* è invece discussa preliminarmente.

In Vitruvio, commenta Elisa Romano, il problema dei trasportatori di pertiche, rispetto ai precedenti, «introduce una nozione non ancora affrontata, quella della composizione di forze parallele che agiscono nella stessa direzione (verso l'alto in questo caso) opponendosi a una forza resistente di senso contrario ma parallela alle prime due (verso il basso in questo caso). Se gli uomini trasportano parti uguali di peso, forse è implicito che la risultante che equilibra la forza resistente è la somma delle due forze motrici, ma Vitruvio non lo dice esplicitamente, e non è tanto questo che gli interessa quanto ricondurre il problema ai principi della leva. L'asse di rotazione è dato dal punto d'attacco della cinghia; quando questa è attaccata al centro della pertica, il sistema di equilibrio e le due forze sono uguali, ma quando la cinghia si allontana dall'asse interviene il principio di rotazione, nel senso che la pertica tende a pressare le spalle di un trasportatore e ad alleggerire l'altro. Da questo momento la pertica è del tutto equivalente a una leva che si pressa per sollevare un peso» (1997, p. 1378 s., n. 94).

L'equivalenza dell'asse di legno con la leva, nella *Meccanica*, è messa subito in evidenza e spiegata con precisione; si passa poi alle

forze in gioco. Da notare l'uso del verbo tecnico ἀντερείδειν (l. 17): il peso si oppone al sollevamento e nello stesso tempo preme verso il basso. Il fatto che l'autore si riferisca a un'esperienza comune e parli in modo generico di uomini che trasportano, e non di una categoria precisa di persone incaricate di questo lavoro, potrebbe essere anche in relazione con la bassa considerazione che il lavoro salariato aveva in Grecia; d'altra parte si osserva che in genere egli tende a ridurre a schema geometrico i vari aspetti della realtà, o a vederli sotto la forma dell'analogia con il funzionamento delle macchine. Il termine *achtophoros* ('portatore di carichi') compare in Erodoto, ma è detto degli animali 'da soma' (VII 187, 1).

Nei commenti rinascimentali, il problema aristotelico viene come di consueto ampliato, esemplificando in questo caso ciò che accadrebbe se per esempio i portatori fossero di statura diversa, oppure camminassero su terreni di pendenza diversa, in salita o in discesa (Baldi, p. 164 ss.); la dimostrazione viene anche confrontata con quella di altri trattati del tempo (Monantheuil, p. 191 s., fa riferimento a Guidobaldo del Monte e a Cardano), o più genericamente considerata in rapporto ai concetti di moto 'violento', indotto dai portatori, e 'naturale' del legno.

[287] Questo problema, insieme con gli altri che si soffermano su oggetti naturali e su esperienze comuni, esemplifica bene ciò che potrebbe essere definito l'occhio 'geometrico' dell'autore, attento nell'osservare i vari aspetti della realtà, e teso a coglierví figure e rapporti geometrici. Il suo atteggiamento riflette una più generale tendenza della cultura greca a interpretare seguendo schemi geometrici (vd. l'introduzione).

Il termine κνήμη indica la gamba in senso stretto, cioè il segmento dell'arto inferiore tra il ginocchio e il piede; e si distingue da μηρός che invece indica la 'coscia', il 'femore'; cfr. Omero, *Iliade* 4, 146 s.; *Odissea* 8, 135; Erodoto VI 75, 3; Platone, *Timeo* 74 e; Aristotele, *Locomozione d. an.* 12, 711 b 2 ss.; *Problemi* V 24, 883 a 29 s.; 26, 883 b 14-25: da tutti questi passi si vede bene la distinzione tra i due termini. Aristotele nell'*Etica Nicomachea* IX 8, 1168 b 8, per esemplificare il rapporto diverso che si ha con sé stessi e con gli altri, cita il proverbio γόνυ κνήμης ἔγγιον ('il ginocchio è più vicino della gamba'; il senso è che si bada a ciò che è più vicino, e nessuno è più vicino di sé stessi), la cui versione complementare ἀπωτέρω ἢ γόνυ κνάμα ('la gamba è più lontana del ginocchio') si legge in Teocrito, *Idillio* 16, 18. Su questo proverbio, sulla sua diffusione nella letteratura greca e latina, sulle sue varianti antiche e moderne, vd. Tosi 1991, p. 576, n. 1282: *Tunica propior pallio est*.

Le posizioni del corpo di uomini e animali sono al centro dell'attenzione negli scritti biologici di Aristotele, che nel trattato sulla

Locomozione degli animali, in particolare, si sofferma sulle cause che le determinano e sul rapporto tra struttura e funzione. Nella *Fisiognomica*, la posizione del corpo è tra i segni più significativi per capire il carattere. L'uomo è il solo animale che ha posizione eretta; questa posizione è considerata in rapporto non solo con una determinata conformazione fisica, con la disposizione degli occhi, ma anche con l'intelligenza dell'uomo e con lo sviluppo delle sue abilità (stando eretto, l'uomo ha la mano libera), e soprattutto con la sua capacità di 'guardare in alto', partecipando più di ogni altro essere del divino: la testa è la parte 'alta' e più significativa dell'uomo, rivolta veso la parte 'alta' dell'universo, in un'ideale tensione; vd. per es. *Parti d. an*. III 1, 662 b 20 s.; IV 10, 686 a 25 ss.; 12, 695 a 1 ss.; *Ricerche s. an*. II 8, 502 a 16-b 24 (il passo contiene un interessante confronto tra l'uomo e la scimmia, di cui potrebbe essersi ricordato Monantheuil, che cita tuttavia solo Galeno, nel suo commento a questo problema, vd. p. 195); *Problemi* X 15, 892 b 4-14; 54, 897 a 16 s.; XXXI 27, 960 a 12 ss.; cfr. Platone, *Timeo* 44 d ss.; 90 a. L'assunzione di posizioni diverse del corpo, in relazione allo stato di salute dell'uomo, alle sue attività e ai suoi sforzi, costituisce oggetto di attenzione non solo negli scritti dei medici, ma anche nei *Problemi* del *C. A*.

288 Cfr. Euclide, *Elementi* I def. 10-12: «quando una retta che sta su una retta faccia gli angoli consecutivi uguali tra loro, uno e l'altro degli angoli uguali è retto, e la retta che sta su è chiamata perpendicolare a quella su cui sta»; «angolo ottuso è quello maggiore di un retto»; «acuto quello minore di un retto». Gli angoli alla base di una perpendicolare sono entrambi retti.

L'uso del termine ἴσος è tra le più interessanti peculiarità linguistiche di questo trattato; la sua interpretazione crea talora qualche difficoltà come si è visto nel problema nr. 25 (856 b 23), e come si vedrà poco più avanti (858 a 1). In questo passo si coglie con evidenza la sua particolare connotazione: τὸ ἴσον, 'ciò che è uguale' rappresenta la condizione di parità, l'equilibrio, la stabilità; inoltre, si determina una relazione di 'pertinenza', di 'appartenenza' tra l'angolo retto e τὸ ἴσον (l. 24 s.; Heath osserva che il genitivo τοῦ ἴσου potrebbe dipendere da αἴτιον, intendendo «the right angle the 'cause' of the equal», ma preferisce considerarlo «as a sort of partitive genitive», 1998, p. 253). Concezioni etiche, politiche, giuridiche e nozioni geometriche si sovrappongono, ponendoci di fronte ad aspetti significativi nella storia di questo termine, e al divenire di una terminologia tecnica. Si può cogliere in genere una correlazione, una vicinanza tra i concetti di 'retto' e di 'uguale' in vari contesti. Euclide così definisce la linea retta: «Linea retta è quella che è posta ad uguale livello – ἐξ ἴσου – rispetto ai punti su sé stessa» (*Elementi* I def. 4; cfr. def. 10).

Negli *Analitici secondi*, il termine ricorre con il senso dell'identità geometrica, in riferimento a γωνία (I 1, 71 a 19 s.; 4, 73 b 31 ss.); cfr. Euclide, *Elementi* I 32, e la testimonianza di Proclo, nel *Commento* (p. 379, 2 ss. Friedlein), relativa alla Scuola di Pitagora (= 58 B 21, I p. 456 D.-K.). In un passo della *Metafisica* (N 6, 1093 b 11 ss. = Pitagora 58 B 27, I p. 459, 2 s. D.-K.), nell'ambito di una trattazione riguardante l'impossibilità che i numeri siano causa delle cose, si dà una testimonianza relativa ai Pitagorici: alla serie cui appartiene il bello appartengono il dispari, il retto, l'uguale.

Al contrario dell'angolo acuto o ottuso, che possono avere diverse ampiezze, l'angolo retto è sempre uguale a sé stesso, non inclina né da una parte né dall'altra (Cappelle commenta: «angulus rectus [...] *angulus aequalitatis* appellatur, quoniam linea perpendicularis ab omni parte aeque ad terram vergit. Hinc etiam homines caeteraque animalia perpendiculariter vel ad similes angulos terrae circumferentiae procedunt, qui caderent, si versus unam alteramve partem nimis sese inclinarent», p. 277). Quanto lo 'spirito di geometria', tipico della cosmologia e della scienza dei Greci, abbia permeato le loro concezioni etiche e politiche è stato messo spesso in evidenza (per il rapporto tra le riforme clisteniche e l'organizzazione geometrica dello spazio, per esempio, vd. Vernant 1978, p. 245). Nell'*Etica Nicomachea*, Aristotele utilizza una celebre definizione simonidea dell'uomo 'valente' come 'tetragono' (I 11, 1100 b 21 s.; vd. Simonide fr. 542, 1 ss. P.), citata anche da Platone nel *Protagora* 339 b. Tra i solidi è il cubo a rappresentare questa nozione di stabilità e solidità, vd. Platone, *Timeo* 55 e: «Alla terra diamo la forma cubica. Infatti, dei quattro generi è il più immobile e il più plasmabile dei corpi. E soprattutto è necessario che sia tale quello che ha le basi più solide»; cfr. 55 b-d. È nota l'importanza del cubo nella speculazione dei Presocratici (vd. per es. Pitagora 14, 8, I p. 99, 31; Parmenide 28 A 44, I p. 225, 19 s.; Empedocle 31 B 96, I p. 345, 21; Ippocrate di Chio 42 A 4, I p. 396, 13 ss.; Filolao 44 A 15, I p. 403, 9 s.; A 24, I p. 404, 28 ss.; A 26, I p. 405, 10; Archita 47 A 1, I p. 422, 1 s.; cfr. Crizia 88 B 15 a, II p. 427, 44 D.-K.).

Qui si ricorre a questi concetti, per spiegare ciò che di per sé è riferibile alla dottrina del centro di gravità; impostazione geometrica e considerazioni basate sulle forze fisiche si integrano.

Il rapporto tra quiete e movimento è indagato da Aristotele nel libro ottavo della *Fisica* (vd. 3, 253 a 22-254 b 6; cfr. II 1, 192 b 8 ss.) e, dal punto di vista biologico, nella *Locomozione degli animali* e nel *Moto degli animali*. All'inizio di quest'ultimo trattato, dopo aver richiamato alcune argomentazioni della *Fisica*, Aristotele dichiara di voler indagare gli 'oggetti di esperienza', i dati particolari e sensibili, sulla base dei quali «è chiaro che il moto è impossibile senza nulla

che rimanga in quiete, anzitutto negli animali, perché se qualcuna delle parti si muove qualche altra deve restare in quiete. Questa è la ragione per cui gli animali sono dotati delle articolazioni. Essi si servono delle articolazioni come di un centro, e tutta la parte in cui è posta l'articolazione è sia semplice sia doppia, sia dritta sia curva, mutando in potenza e in atto grazie all'articolazione» (1, 698 a 14-21).

Tra i commentatori rinascimentali, Baldi sviluppa in modo più ricco degli altri la questione, aggiungendo altre curiosità e domande: movimenti e caratteristiche biologiche di uomini e animali, forme e punti di appoggio di oggetti vari, elementi architettonici vengono analizzati secondo principi e schemi geometrici e meccanici, partendo dalle considerazioni aristoteliche (pp. 166-177).

[289] Il nesso οὐ γὰρ ὅτι καί (l. 26) crea difficoltà interpretative. Sylburg (p. 304), facendo anche riferimento alla traduzione di Leonico Tomeo, richiama l'attenzione sulla costruzione ellittica (si sottintende qualcosa come *causa est*), e annota che alcuni preferiscono leggere οὕτω γάρ: Cappelle accoglie questo emendamento; Monantheuil scrive οὐτως [sic] γὰρ. Il senso della frase deve in realtà essere: 'perché così sarà anche ad angolo retto con il suolo'. Altrimenti, si ha una contraddizione con ciò che è stato appena detto (vd. anche l. 28 s. εἰ –ἔσεσθαι), a meno di non intendere, correggendo ὅτι: 'perché non sarà ancora (ἔτι invece di ὅτι) ad angolo retto col suolo', ritenendo che l'autore faccia riferimento al momento transitorio in cui l'uomo, da seduto, si è levato ma non è 'ancora' in posizione eretta, e forma pertanto 'ancora' angoli acuti con il terreno. Ciò sembra tuttavia poco probabile.

L'emendamento di Cappelle non è strettamente necessario: si può pensare che οὐ γάρ introduca una interrogativa con risposta affermativa ('non è vero che sarà anche …?', 'non si può dire che ...', 'non sarà questa la causa per cui sarà anche ad angolo retto con il suolo?', oppure 'non è chiaro che sarà anche ...': οὐ γὰρ δῆλον/ φανερὸν ὅτι καὶ κτλ cfr. 853 b 34; 858 b 18), in prosecuzione della risposta avviata (l. 23 ss.: πότερον ὅτι κτλ). Un'altra possibile interpretazione è: 'nonché ad angolo retto con il suolo'. La sequenza οὐ γὰρ ὅτι καί è in ogni caso del tutto inusuale, mentre è comune la correlazione οὐ γὰρ ὅτι ... ἀλλ' ὅτι, di cui potrebbe essere un adattamento. Si può anche ricordare l'espressione colloquiale οὐ γὰρ ἀλλά, che ha un valore confermativo (vd. per es. Aristofane, *Rane* 58; 498; 1180).

Heath, tra i commentatori moderni, mette in evidenza la difficoltà del testo, che definisce «very odd», giudicando non corretta la traduzione di Forster («for it is not the case that he will actually be at right angles to the ground»); ricorda l'emendamento proposto (οὕτω γάρ), ma preferisce interpretare οὐ γὰρ ὅτι come οὐχ ὅτι: 'although', 'not

but what' (1998, p. 254). Heath si interroga anche sul soggetto del verbo φέρεται (l. 25): dovrebbe essere l'uomo che passa da una posizione all'altra; in base a un passo del trattato sul *Cielo* (II 14, 296 b 18-21) ritiene che il soggetto potrebbe essere τὰ φερόμενα βάρη: in questo caso, ammette tuttavia che la frase dovrebbe avere un valore parentetico.

Si noti il significato di ὅμοιος (l. 25); cfr. *Cielo* II 14, 296 b 20; IV 4, 311 b 33 s. Sulle definizioni dell'angolo e sulle diverse opinioni che lo pongono in relazione con le categorie della relazione, della quantità e della qualità, informa Proclo nel *Commento* a Euclide (*Elementi* I def. 8), p. 121, 12 ss. Friedlein.

Il termine περιφέρεια (l. 26) diventa tecnico in geometria, come si è visto, designando sia la linea chiusa che delimita un cerchio, la circonferenza, sia un arco di cerchio. Qui è da intendere nel senso di 'superficie curva', di 'curvatura esterna'. Sylburg attesta che alcuni preferiscono leggere τῇ ἐπιφανείᾳ τῆς γῆς (p. 304); così scrive Monantheuil.

[290] Cappelle (seguito da Apelt) accoglie la lezione γίνεται, invece di γίνεσθαι (l. 30). Nel commento, osserva che la teoria del centro di gravità, se fosse stata nota, avrebbe offerto ad Aristotele la spiegazione più semplice, e gli rimprovera di aver detto che testa e piedi devono essere su un'unica linea retta: «caput enim plane extra pedum lineam situm esse potest, modo linea directionis centri gravitatis dicto modo sese habeat» (p. 277 s.). Alla sua osservazione, si rifà anche Heath: «It is curious that the writer states [...] that the feet should be directly 'under the head' [...], whereas they should, of course, be vertically under the centre of gravity of the whole body» (1998, p. 254). L'allineamento di cui qui si parla è da intendere come ulteriore conferma della tendenza dell'autore a ridurre i vari aspetti della realtà a elementi geometrici.

[291] Vd. Fig. 24.

Cappelle mantiene nel testo la lezione ἴσης (858 a 1), ma in apparato richiama l'attenzione sull'emendamento εὐθείας (vd. Monantheuil; così legge anche Forster), di cui tiene conto nel tradurre (vd. anche il commento, p. 277). In realtà esiste, come si è detto, una stretta correlazione tra i concetti espressi da ἴσος e da εὐθύς.

[292] In precedenza, l'autore ha affermato che un corpo si muove tanto più facilmente, quanto più il movimento avviene nella direzione verso cui esso tende (851 b 32 s.; 852 a 25 ss.; b 6).

Questo problema ha un'impostazione fisica; il moto locale (*phora*) e le sue 'specie' (*eide*), la distinzione tra ciò che muove (*to kinoun*) e ciò che è mosso (*to kinoumenon*), la determinazione dei concetti relativi al movimento sono oggetto di indagine soprattutto nella *Fisica* di Aristotele e nel commento che ne fa Simplicio.

I commentatori rinascimentali danno rilievo alla corrispondenza tra inclinazione naturale e moto proprio, e vi connettono l'opposizione tra movimento 'naturale' e movimento 'violento' (vd. Monantheuil, p. 201: «Atqui iam commotus plus movetur violento. Tunc igitur minus naturali: contra incipiens moveri, plus naturali. Tunc igitur minus violento. Ergo commotus facilius movebitur: quam quiescens vel incipiens moveri»; Baldi pp. 177-179).

[293] Tra le specie del movimento locale (*helxis*, *osis*, *ochesis*, *dinesis*, vd. *Fisica* VII 2, 243 a 16 s.; 244 a 7 ss.), 'la spinta' (*osis*) diventa centrale nel discorso: azione e 'reazione' sono viste come aspetti del rapporto tra contrari. Questo passo dimostra una qualche nozione della forza d'inerzia, (vd. le note 178 e 179; Heath 1998, p. 254).

Per l'uso del verbo ἀντιτείνειν (l. 8; cfr. 34, 858 a 27, e la nota relativa), si può confrontare un passo dei *Problemi* VIII 9, 888 a 18 e 20 s.

[294] Nel movimento 'in avanti' sia dell'oggetto mosso sia del suo motore, l'autore individua la causa della maggiore forza e velocità; secondo un criterio interpretativo già osservato, per cui un movimento può essere 'd'aiuto' a un altro, 'favorirlo', 'assecondarlo', se si attua in modo *simile* o *naturale*, seguendo in questo caso la stessa direzione e la naturale inclinazione; vd. il commento di Leonico Tomeo (ff. LII v.-LIII r.).

[295] L'ordine con cui si succedono questi ultimi problemi sembrerebbe in relazione con la discussione condotta nella *Fisica* sulle specie di movimento locale (vd. la nota 293). Nell'ambito del concetto di spinta, Aristotele distingue tra 'impulso' (ἔπωσις), 'repulsione' (ἄπωσις), 'lancio' (ῥῖψις – *Fisica* VII 2, 243 a 18-b 2). Nella *Meteorologia* IV 9, 386 a 33-b 1, si distingue *osis* da *plege*: la prima corrisponde al movimento impresso da un motore, tramite contatto; la seconda invece a un movimento che implica lo spostamento di un corpo (vd. le note 203 e 209). Le distinzioni terminologiche sono una caratteristica peculiare dei trattati aristotelici.

Ai problemi in cui si è parlato del trasporto (26; 27; 29), seguono quelli riguardanti la trazione e la spinta, e il 'lancio' (probl. 32); l'ultimo problema (35) tratterà della rotazione.

L'arresto del moto è un tema più volte posto nei *Problemi*, in cui il lancio, il movimento e la caduta dei gravi servono anche da modelli esplicativi della propagazione della voce e dei suoni in generale, vd. anche *Suoni* 800 a 1 ss.; b 5 ss.; 801 a 21 ss.; b 31 ss.; 802 a 30 ss.; b 31 ss.; 803 b 2 ss.; 26 ss.; 804 a 32 ss.; b 11 ss.

[296] L'argomentazione si arricchisce, in questo contesto, della valutazione di altri possibili fattori (vd. il passo della *Fisica*, appena citato; *Problemi* XI 6, 899 a 37- b 3), riconducibili tuttavia alla generica opposizione 'maggiore'/ 'minore', secondo uno schema interpretativo consolidato.

Si dà ancora una volta rilievo al concetto di resistenza, espresso qui dal verbo ἀντισπᾶν 'tirare in senso contrario'; cfr. 849 a 13; a 30; 857 a 8; e un passo dei *Problemi*, in cui l'uso del verbo sottolinea efficacemente la nozione dell'ostacolo: «Perché chi corre a tutta forza è preso da spasmi molto forti, se uno gli si mette davanti nel mezzo della corsa? Forse perché le contrazioni sono più violente, là dove ci sono trazione e movimento in senso contrario e con violenza? Perciò, se qualcuno si frappone durante la corsa, mentre le parti del corpo sono spinte energicamente in avanti, si ha contemporaneamente un impulso in senso contrario – συμβαίνει ἅμα ἀντισπᾶν εἰς τοὐναντίον, nel momento in cui esse sono ancora protese in avanti; così tanto più violenta è la contrazione, quanto maggiore è l'impeto della corsa» (V 39, 885 a 6-13; vd. anche III 15, 873 a 20; XX 32, 926 b 12). Cfr. l'uso dei verbi *antereidein* e *antiteinein* (851 b 35; 858 a 26; 858 a 8). Nell'analisi del movimento degli animali, vengono indicati come fattori essenziali del movimento, la trazione o la spinta, e la resistenza (*anteiresis*) del mezzo sul quale si esercita la spinta (*Locomozione d. an*. 3, 705 a 14).

Ancora più significativa è la presenza del termine ῥοπή, che indica una forza diversa da quella che ha causato il lancio (*ischys*), cioè il peso, l'inclinazione verso il basso, ciò che noi chiameremmo forza di attrazione gravitazionale. Cfr. *Fisica* IV 8, 216 a 13-16; *Cielo* III 2, 301 a 22-26; *Problemi* XVI 3, 913 a 34 ss.; 12, 915 b 6 ss.; IX 4, 890 a 2.

Guarino così commenta: «s'intende [inclinatione] della cosa che è gettata, la qual cosa se serà di molta gravità, & che sia tratta da poca forza, tosto la inclinatione naturale della sua gravità, la porta al luogo della sua naturale inclinatione, & manca il moto violento» (f. K v.).

[297] Sul vocabolo ἀρχή si sofferma Cappelle, distinguendolo da αἰτία, come si visto (vd. la nota 262). Aristotele, commenta Cappelle, vuol dire che è assurdo fermarsi in questioni come queste, o pensare a qualche causa, senza accorgersi che «rem ipsam esse principium, de quo non amplius quaeri debeat quamobrem sit, sed quod per se esse debeat fide dignum» (p. 279).

I commentatori rinascimentali, in relazione alla nozione di *principium*, richiamano il concetto di 'motore primo' (vd. Monantheuil, p. 202: «Si per principium intelligamus motorem, qui motus principium dedit, id est primum motorem [...] absurdum est [...] dubitare de causa cessationis proiecti cum ipsum suus motor deserat»). Sul rapporto tra il motore e la cosa mossa, e sulla continuità del moto nello spazio si sofferma brevemente Leonico Tomeo, che considera compendiate in questa e nella prossima questione due principali «sententiae» degli antichi: nella prima, individua come determinante il concetto di *vis* e di *virtus*; nella seconda, la funzione dell'*aer* (vd. f. LIII r./v.).

Baldi definisce «exploratissimum» il problema posto: il moto cessa perché la spinta non è naturale, ma puramente «accidentalis & violenta»; si sofferma poi su una questione collaterale, suggerita dall'esperienza, riguardante l'efficacia del colpo inferto, che varia in relazione alla distanza «a principio» (p. 179 s.). In realtà, si è visto che nel problema nr. 12 della *Meccanica* (852 a 38 ss.), l'autore ha dato una spiegazione di questo effetto; anche nel trattato aristotelico sui *Suoni*, in un passo in cui l'analisi della meccanica del colpo spiega per analogia la funzione propulsiva dei polmoni, si afferma: «nessun'altra parte del corpo può rendere efficace il colpo da una piccola distanza: né con le gambe né con le mani si può colpire con impeto, né lanciare lontano l'oggetto colpito, se il colpo non è dato, in ciascuno di questi casi, da una considerevole distanza. Altrimenti, il colpo inferto energicamente è sì forte, ma non riesce a proiettare lontano l'oggetto colpito. Così, neppure le catapulte possono avere una lunga gittata, né le fionde, e neppure l'arco se è rigido e non può piegarsi, e se la corda non può essere tratta molto indietro» (800 b 6-15; cfr. *Problemi* XVI 3-4, 913 a 34-b 36; 12-13, 915 b 6-35). Significativamente Guevara, nel commentare la questione in modo molto esteso e dettagliato (pp. 252-260), considera l'analogia con ciò che accade nel caso della propagazione del suono e di altri stimoli e percezioni sensoriali (p. 256 s.).

Anche la parafrasi di Piccolomini testimonia l'intenso dibattito sul moto, portato avanti nella sua epoca in diretto rapporto con le fonti classiche e con i commenti antichi delle opere aristoteliche (da parte di Alessandro di Afrodisia e di Simplicio, in particolare): «la gravezza, o ponderosità è di due sorti, una che nasce dalla natura della cosa l'altra chiamata superficiale [...], la quale non è altro, che un cert'impeto non durabile [...] Per la vittoria dunque della vera nativa ponderosità contra l'impeto o gravezza superficiale, nasce la quiete e cessation del moto nelle cose scagliate o lanciate» (trad. di Biringucci, p. 111 s.).

Il termine ἀρχή senza specificazione può essere interpretato come *principium cognoscendi*, come principio logico ed epistemologico che dovrebbe essere alla base di ogni discussione: il lettore moderno avverte questo valore, prima di tutto; l'autore sembra affermare con questa frase una cosa molto saggia. D'altra parte, il nesso ἡ ἀρχὴ τῆς κινήσεως è ricorrente nelle opere aristoteliche; vd. per es. *Fisica* II 7, 198 b 1; *Meteorologia* I 2, 339 a 31; *Metafisica* A 3, 984 a 27; *Moto d. an.* 1, 698 a 7 s.; cfr. *Fisica* VIII 6, 259 a 33-b 1; *Metafisica* Θ 8, 1049 b 7 s.; *Riproduzione d. an*. II 6, 742 a 29 s. Così, l'uso del termine ἀρχή appare in questa frase particolarmente pregnante: l'attenzione agli oggetti di esperienza e alla causa efficiente, nei trattati del *C. A.*, non è disgiunta dalla consapevolezza dell'ambito più vasto in cui si colloca l'indagine dei fenomeni.

Un'affermazione contenuta negli *Analitici secondi* può compendiare la rilevanza del termine, e nello stesso tempo la sua specificità nei diversi contesti: «procedere da premesse prime è procedere da principi appropriati; infatti chiamo la stessa cosa primo – πρῶτον – e principio – ἀρχήν» (I 2, 72 a 5-7).

Nella parte introduttiva del *Moto degli animali* l'uso sia di *aitia* sia di *arche* ripropone la differenziazione dei concetti relativi, ma anche la loro necessaria integrazione, dato che lo studio dovrà procedere sia a livello teorico sia a livello pratico, osservando i dati particolari e sensibili (sulla cui base si possono costruire anche teorie generali), e dato che lo studio sul movimento degli animali implica anche attenzione al moto e al corso dell'universo (1, 698 a 1 ss.; 2, 698 b 8 ss.; cfr. *Locomozione d. an*. 1, 704 a 4 ss.; 2, 704 b 12 ss.).

[298] In stretta connessione con la questione precedente (vd., nella nota 297, l'osservazione di Leonico Tomeo sulle due *sententiae*), si riprende il tema del rapporto tra la forza propulsiva e la durata del movimento che ne deriva, aggiungendo tuttavia un seppur fugace accenno al problema della trasmissione del moto. Guevara osserva che Aristotele procede in ordine inverso: prima pone una domanda sulla fine del moto locale, poi sul moto locale stesso (p. 252 s.).

Il testo potrebbe non essere sicuro. Monantheuil legge: διὰ τί φέρεταί τι οὐ τὴν αὐτοῦ φορὰν μὴ ἀκολουθοῦντος τοῦ ὠθοῦντος ἀλλὰ τοῦ ἀφέντος, e traduce: «Quare quidpiam non propria latione fertur, cum impulsor non consequatur, sed dimittat» (p. 202). Il senso della domanda è tuttavia questo: perché un corpo si muove di moto non proprio (solo) per un certo tratto, se la forza che lo ha lanciato non continua a spingerlo? Piccolomini amplia con un riferimento all'opposizione tra moto violento e moto naturale: «Che vuol dire che le cose scagliate, come per esempio i sassi, dopo che si sono spiccati da chi li tira, ancorché il tirator non li seguiti, nondimeno vanno di moto violento, se ben cotal moto non gli è proprio o naturale?» (trad. di Biringucci, p. 112 s.). Baldi, commentando brevemente la questione, la definisce chiara di per sé, in quanto il moto impresso è «accidentalis» (p. 180). Anche Cappelle (p. 279) collega il 'moto proprio' (l. 17) al 'moto naturale', e propone il confronto con un passo del trattato sul *Cielo* in cui si parla del movimento di ogni corpo 'verso il suo luogo proprio' (εἰς τὸν αὑτοῦ τόπον – IV 3, 310 a 21).

[299] La continuità del movimento, nonostante la separazione dal motore, viene connessa con la possibilità che la spinta continui per il perdurare di una qualche forma di 'contatto'; pur se non nominata espressamente, è l'aria (vd. 30 s.), o un altro *medium*, che assicura la trasmissione del moto: il concetto di 'contatto' e di 'mezzo' è ricorrente nelle diverse spiegazioni della trasmissione del moto o di impulsi di varia natura. In esse, il 'mezzo' può (in una certa misura con-

tradditoriamente) valere sia come 'motore' sia come causa di resistenza.

Molto pertinente è il confronto con un passo del trattato sul *Cielo* III 2, 301 b 19-30: «ogni movimento è o secondo natura, o per costrizione; il movimento secondo natura (per la pietra, per esempio, il movimento verso il basso) sarà accelerato dalla forza che agisce, mentre il movimento contro natura sarà interamente dovuto a essa. In entrambi i casi, la forza si serve dell'aria come strumento, perché l'aria è per natura leggera e pesante: quando venga spinta e riceva il principio del moto dalla forza – ὅταν ὠσθῇ καὶ λάβῃ τὴν ἀρχὴν ἀπὸ τῆς δυνάμεως, determinerà il movimento verso l'alto, in quanto è leggera, e verso il basso, in quanto è pesante. La forza infatti in entrambi i casi trasmette il moto al corpo, come se lo imprimesse per contatto – ὥσπερ ... ἐναφάψασα παραδίδωσιν. Pertanto, un corpo che si è mosso per costrizione continua il suo movimento anche quando il motore non lo accompagna più – διὸ καὶ οὐ παρακολουθοῦντος τοῦ κινήσαντος φέρεται τὸ βίᾳ κινηθέν. E se non ci fosse un corpo dotato di questa proprietà, non vi sarebbe movimento per costrizione. Allo stesso modo, l'aria asseconda – συνεπουρίζει, cfr. *Meccanica* 23, 855 a 13 e 20 – il movimento secondo natura di ciascun corpo». Significativo è anche il confronto con la distinzione proposta in un altro passo dello stesso trattato, passo peraltro molto discusso anche dagli antichi commentatori (*Cielo* II 6, 288 a 18-22): ad ogni movimento irregolare sono connessi 'rallentamento' (*anesis*), accelerazione (*epitasis*) e culmine (*akme*); il culmine si trova o nel punto di partenza, o nel punto di arrivo, o nel punto intermedio, a seconda che le cose si muovano 'secondo natura', 'contro natura', o vengano lanciate.

Nella *Fisica*, negando l'esistenza del vuoto come entità separata, si argomenta anche considerando il movimento di ciò che viene lanciato: «i proiettili si muovono, sebbene non più toccati da parte di chi li ha lanciati, o per forza di reazione – δι' ἀντιπερίστασιν, come affermano alcuni, oppure in quanto l'aria, spinta, a sua volta imprime una spinta con un movimento più veloce di quello secondo il quale esso si muove verso il proprio luogo naturale» (IV 8, 215 a 14-17; cfr. Platone, *Timeo* 59 a; 79 b). Nella discussione diventa sempre più evidente il ruolo del 'mezzo', del 'veicolo' (215 a 19) per spiegare l'arresto del movimento, la maggiore o minore velocità di un medesimo corpo che attraversa 'mezzi' diversi: la loro diversa densità costituisce uno dei fattori capaci di ostacolare in modo maggiore o minore, offrendo una resistenza differenziata (215 a 19 ss.).

Come ciò che è mosso possa continuare a muoversi, senza essere in contatto con ciò che fa da motore (μὴ ἁπτομένου τοῦ κινήσαντος), è una difficoltà discussa, sempre nella *Fisica*, portando appunto

l'esempio dei proiettili, e analizzando la possibilità che il motore possa muovere contemporaneamente anche qualcos'altro, «come ad esempio l'aria, che muove essendo a sua volta mossa» (VIII 10, 266 b 28 ss.). In questo articolato contesto, in cui si distinguono il 'continuo' e il 'continguo', e in cui il 'primo motore' è di per sé immobile, e senza grandezza, si prende in considerazione anche il movimento, che si ha nell'aria e nell'acqua, definito *antiperistasis* (267 a 15 ss.; cfr. IV 8, 215 a 15), per cui ogni cosa muove ed è mossa, e cessa di muoversi contemporaneamente. Il concetto di *antiperistasis* ricorre frequentemente e con significati non univoci nei *Problemi* (vd. II 16, 867 b 31 s.; XIV 3, 909 a 23; XXIV 8, 936 b 16; XXVI 27, 943 a 11; XXXIII 1, 961 b 15; 5, 962 a 2; e le mie note di commento ai *Problemi*, ed. 2002, pp. XXIII; 526 n. 77; 589); Monantheuil lo richiama commentando proprio questo passo della *Meccanica* (p. 203).

Il suono è inteso e indagato come movimento negli studi di acustica, che si avvalgono spesso degli esempi tratti dalla balistica (a cominciare da Archita, fr. 47 B 1, I p. 434, 5 ss. D.-K.), sia per sostenere l'assimilazione tra il comportamento del suono e quello dei proiettili, sia per negarla. Per il ruolo dell'aria, o di un altro *medium*, e delle sue 'parti' nell'origine e nella trasmissione del suono, per il modo in cui è concepita la loro interazione, per la teoria dell'impatto e dell'impulso, associata all'analisi della produzione e ricezione del suono, vd. la mia introduzione al trattato sui *Suoni*, ed. 2008, pp. 178 ss.; 189 ss. e le note relative ai passi 800 a 1 ss.; 801 a 24 ss.; b 31 s.; 803 b 2 ss.; 29 ss.; 804 a 2 ss.

Anche nei *Problemi* si riflette il vivace dibattito su questi stessi temi, vd. le sezioni XI e XIX di questa opera, e in particolare i problemi XI 6-7, 899 a 22-b 24; 19-21, 901 a 7-34; 23, 901 b 16-23; 29, 902 b 9-15; 33-35, 903 a 7-b 6; 37, 903 b 13-18; 45, 904 a 23-39; 47, 904 b 7-10; 49, 904 b 15-21; 51-52, 904 b 27-905 a 4; 58, 905 a 35-b 23; XIX 35, 920 a 27-b 6; 42-43, 921 b 14-922 a 20; 50, 922 b 35-923 a 3.

I confronti con le opere sicuramente aristoteliche ripropongono il più generale problema delle fonti e della loro utilizzazione nei trattati cosiddetti minori del *C. A.*, e dei loro rapporti con le dottrine aristoteliche, degli scambi all'interno della scuola, e del confluire in essa di materiale di varia provenienza, elaborato e discusso; vd. le mie osservazioni nell'introduzione ai *Problemi*, ed. 2002, p. XX ss., e ai trattati sui *Colori* e sui *Suoni*, ed. 2008, p. 166 ss., 177 ss., 189 ss.

[300] Cfr. l. 15. Qui è implicito il concetto di peso-resistenza. Il participio sostantivato τὸ προωθοῦν (l. 20) così come il nesso τὸ πρῶτον (l. 19) non rinviano evidentemente in questo contesto al primo motore immobile, ma a ciò che di volta in volta costituisce l'immediata forza propulsiva, esercitata dall'uomo o da uno strumento. È da no-

tare in ogni caso che il termine δύναμις compare solo nell'ultima linea: prima si parla più genericamente di 'ciò che per primo determina la spinta, il lancio'.

[301] La capacità di un oggetto, o del suono o della luce o di qualsiasi altro stimolo sensoriale (vd. la nota 299), di andare lontano, o di propagarsi e arrivare in profondità, di essere percepito con maggiore o minore chiarezza, rappresenta un altro tema di indagine, cui il Peripato dà un contributo decisivo.

A questa domanda si arriva quasi per progressiva precisazione degli ultimi quesiti posti (31-33); essa, ponendo in primo piano il rapporto con il lanciatore, appare al lettore moderno particolarmente importante, in quanto sembrerebbe superare, in un certo senso, la più diffusa e quasi esclusiva attenzione al 'mezzo' come decisivo elemento della trasmissione e della propagazione di un movimento, quale esso sia. In realtà, si pensa forse solo al rapporto tra la dimensione, e il peso, degli oggetti, e l'entità o la forza del lanciatore (molto meno probabilmente, all'eventuale moto del lanciatore). Il termine συμμετρία rinvia qui a una generica idea di 'relazione', di giusta, conveniente 'corrispondenza', di 'adeguatezza', più che a specifici rapporti di commensurabilità; d'altra parte, il 'grande' e il 'piccolo' sono concetti relativi, come mette in evidenza più volte Aristotele (vd. per es. *Riproduzione d. an*. V 7, 787 a 11 s.). Leonico Tomeo traduce il vocabolo greco con *commensuratio*, e spiega: «commensuratae [...] & proportionales proiicientis & proiectae rei debent esse virtutes» (f. LIII v.-LII r. – erroneamente numerato invece di LIV r.); Piccolomini interpreta «convenientia in mensura» (f. LXVII r.); Monantheuil intende *symmetria* nel senso di *analogia*, e traduce: «oportet correspondere quodammodo» (pp. 203 s.; 205). Baldi, dopo aver brevemente illustrato il contenuto ed essersi soffermato sulla necessità di una 'proporzione' «inter proiectum & proijcientem», aggiunge le proprie considerazioni, e amplia la questione, come è sua consuetudine (pp. 181-185). Cappelle rende il termine con *justus modus*; nelle linee seguenti, la traduzione tiene conto della variante a margine dell'edizione di Casaubon e Du Val: «An, quod omne id, quod projicitur aut impellitur, cedat necesse est et contranitatur ei, unde impellitur» (p. 116; l. 26).

[302] Le possibili risposte ruotano intorno al concetto di azione e reazione; l'argomentazione è condotta seguendo gli schemi noti, e il ragionamento polare: con qualche adattamento, essa potrebbe essere valida, dal punto di vista aristotelico, per altri 'movimenti' (*kineseis*), non solo per il moto locale (*phora*). Piccolomini commenta in modo molto articolato questo problema, richiamando teorie e principi filosofici. Egli parte dalla considerazione che ogni cosa che muove è a sua volta mossa; «nel moto secondo la qualità», ciò è vero se si verifi-

cano queste condizioni: «La prima è che la cosa movente e la mossa convenghino in materia [...]. Secondariamente si ricerca una certa e determinata lontananza tra la cosa mossa e la movente, perché tutte le cose naturali hanno un determinato intervallo [...]. Per la terza circostanza è necessario, che s'interponga qualche impedimento. Per la quarta si ricerca contrarietà tra 'l motore e la cosa mossa; e finalmente bisogna, che l'azzione sia reale, e non (per chiamarla così) spirituale, perche la vista è mossa dal colore, & essa non muove il colore. Se dunque tutte queste cose saranno in essere, allhora sarà necessario che nel moto secondo la qualità si faccia resistenza, o (per così dire) una certa reattione». Passa poi a precisare come si configura la resistenza per il moto locale (trad. di Biringucci, pp. 113 s.; 114 s.).

[303] Il concetto di resistenza (*to antereidein*) si lega qui saldamente a un'altra proprietà della materia, la capacità di non cedere (*to me hypeikein*). Dimensioni più o meno grandi, forza o debolezza, eccesso o difetto sono gli opposti che scandiscono, con i loro reciproci e attesi rapporti, il discorso. L'altra possibile risposta (ἢ ὅτι, l. 30), più che addurre una *doxa* diversa, riflette la stessa impostazione 'meccanica' e lo stesso principio del 'prevalere del più forte', ricorrenti soprattutto nell'analisi dei fenomeni percettivi; ciò è possibile per l'assimilazione di tutti questi diversi processi, concepiti essenzialmente come 'movimenti', seppur di natura diversa.

Si propongono questi confronti con altre opere del *C. A.*: *Fisica* IV 8, 215 a 22; *Generazione e corruzione* I 8, 326 a 14; II 2, 330 a 8 s.; *Meteorologia* IV 4, 382 a 11 ss.; III 1, 370 b 21; *Parti d. an.* IV 12, 694 b 14 ss.; *Problemi* XXXII 13, 961 b 3 s. («l'impatto avviene con aria che fa resistenza e non con aria che cede»); *Suoni* 802 b 29-38 («Forti sono i suoni che colpiscono violentemente l'orecchio e che per questo danno molto fastidio. Si tratta dei suoni lenti a muoversi, ma che poi si propagano acquistando sempre più forza: ciò che cede subito non può sostenere l'impatto e si ritira prima. Ne sono una chiara dimostrazione il movimento violento dei giavellotti molto pesanti e il movimento delle acque nei canali: è proprio nelle parti strette che le acque sono più impetuose, perché non possono ritirarsi rapidamente e vengono invece spinte avanti con molta violenza»); *Colori* 794 a 9 s.; 795 b 30 s. («i colori che vengono dopo, quando riescano a prevalere, alterano completamente i precedenti»); 796 a 18 ss.; cfr. anche il mio commento ai *Colori* 793 b 21-30; 794 a 8-15 (ed. 1999, pp. 190; 193 s. e *passim*).

Cappelle (p. 280) si sofferma brevemente sul nesso εἰς βάθος (l. 31) e ricorda il virgiliano *coelum profundum* (*Bucolica* 4, 51). Il movimento in profondità, nell'aria (che, come l'acqua, ha contorni non definiti e limiti non fissi), viene considerato nelle opere aristoteliche principalmente in relazione alla penetrazione della luce (l'aria e l'ac-

qua sono legate in vario modo col processo visivo); vd. per es. *Meteorologia* III 4, 373 b 1 ss.; 374 b 11 ss.; *Colori* 794 a 8-13: «L'aria osservata da vicino sembra non avere nessun colore [...] se invece è osservata in profondità, appare di un colore molto vicino al blu per effetto della rarefazione»; cfr. *Problemi* XXIII 5, 932 a 17; XXV 10, 939 a 21 s., 24.

[304] Varie sono le proposte di emendamento del testo tràdito (αὐτὸ καθ' ἓν). Cappelle si basa per il suo emendamento, qui accolto, sulla traduzione di Leonico Tomeo («nihil movet»).

L'argomentazione si fonda sulla valutazione negativa di ciò che eccede la misura, secondo una concezione ben radicata nella cultura greca; Aristotele dà a questa concezione un supporto filosofico, ed esalta la *metriotes* in ogni ambito della propria indagine: il lettore della *Poetica* ricorda che un *kalon zoon* non deve essere né *pammikron*, né *pammegethes* (7, 1450 b 37-39). Così, nei trattati minori del *C. A.*, il giusto mezzo, la misura fanno ampiamente parte degli schemi euristici; significativamente, i *Problemi* cominciano con questo quesito: «Perché i grandi eccessi causano la malattia? Forse perché producono eccesso o difetto, e in questo consiste la malattia?» (I 1, 859 a 2 s.). Cfr. *Colori* 797 a 10 s.; 799 a 18 s. (vd. Ferrini 1999, pp. 235 s.; 254 s.; 258 s.). Nella *Fisiognomica*, la descrizione del leone rappresenta una compiuta esemplificazione delle qualità positive, nel corpo e nell'indole, dovute a una 'medietà' tra gli opposti (809 b 14 ss.), e compendia efficacemente il costante apprezzamento delle qualità intermedie, in quest'opera.

Aristotele, nel trattato sull'*Anima* mette in evidenza la potenza distruttiva degli eccessi sugli organi di senso, vd. II 12, 424 a 29-32: «gli eccessi dei sensibili distruggono i sensori; se infatti l'impulso che subisce l'organo è troppo forte, la forma – e cioè il senso – vien meno, come vengono meno l'accordo e il tono qualora le corde siano colpite violentemente»; III 13, 435 b 7-19; cfr. *Problemi* XXXI 28, 960 a 21-28: «Perché sotto i raggi di una lampada o del sole vediamo meglio se mettiamo la mano davanti alla luce? Forse perché la luce del sole o di una lampada, eccessiva com'è, cadendo sui nostri occhi li rende più deboli? Ogni eccesso di luce distrugge anche le cose che ad essa sono affini. Ma se è schermata dalla mano, non disturba la vista, e l'oggetto resta ugualmente illuminato. Perciò la visione è più efficace, e l'oggetto non è meno visibile»). Similmente, in questo passo della *Meccanica*, l'eccesso porta alla stasi, all'immobilità.

Hett, in una nota a questi tre ultimi quesiti (32, 33, 34), afferma: «Aristotle comes near to realizing though he does not succeed in formulating Newton's First and Third Laws of Motion» (p. 408). La prima legge su cui si basa la meccanica newtoniana è: «Ogni corpo permane in uno stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a

quando non intervengano cause esterne a modificarlo»; la terza: «Se un corpo esercita una forza (*azione*) su un altro corpo, questi a sua volta esercita sul primo una forza eguale e opposta, detta *reazione*» (dal *Dizionario di Fisica*, Milano 1992, p. 164).

[305] Si conclude con un quesito che riguarda la quarta specie di movimento locale, la *dinesis* (vd. *Fisica* VII 2, 243 a 17; e qui la nota 293). Nella *Fisica*, Aristotele precisa che 'trasporto' (*ochesis*) e 'rotazione' (*dinesis*) rientrano tra le forme di 'trazione' (*helxis*) e di 'spinta' (*osis* – VII 2, 243 b 17). «Il 'trasporto' infatti si produce secondo uno di questi tre modi: talvolta ciò che è trasportato si muove in modo accidentale, in quanto esso è nel mosso o sopra qualcosa che è mosso, mentre il soggetto che trasporta lo fa o perché è tirato, o spinto o fatto ruotare; cosicché comune a tutti e tre è il trasporto. E la 'rotazione' è formata da trazione e spinta, poiché è necessario che ciò che produce la rotazione debba per un verso tirare e per l'altro spingere: ora infatti spinge lontano da sé, ora verso di sé» (VII 2, 243 b 17-244 a 4). In questo problema, la *dinesis* comporta essenzialmente una progressiva 'spinta' verso il centro, considerato forse come polo attraente.

Il sostantivo δίνησις è una rara forma nominale derivata dal verbo δινέω; i vari termini (δίνη, δῖνος ...) costituiscono un gruppo espressivo di parole che si presta a comunicare l'idea del 'roteare', del 'girare', del 'volteggiare', configurando un movimento circolare o un movimento che vi si approssima.

L'immagine e il concetto di 'vortice', sono ricorrenti nella letteratura greca, sia nella descrizione di fenomeni naturali, e di movimenti di uomini e di animali, sia nella riflessione filosofica; al 'vortice' si fa riferimento anche in senso metaforico (vd. per es. Eschilo, *Agamennone* 997; *Prometeo* 1052). In Omero, 'grandi' e 'profondi' sono i gorghi del fiume Scamandro (*Iliade* 21, 239); nell'*Alcesti* di Euripide, quando la protagonista saluta il sole, la luce del giorno, e i vortici rapidi delle nuvole (v. 244 s.), si sente l'eco delle contemporanee teorie cosmologiche, vd. Empedocle 31 B 35, 3 s. (I p. 326 s.); B 115, 11 (I p. 358 D.-K.); Anassagora 59 A 12 (II p. 9, 35); A 57 (II p. 20); 88 (II p. 26 D.-K.); Leucippo 67 A 1 (II p. 70 s., 30 ss. D.-K.); A 24 (II p. 78, 4 ss.); Democrito 68 A 1 (II p. 84, 18 s.: secondo la testimonianza di Diogene Laerzio, causa della formazione di tutte le cose è per Democrito il movimento vorticoso che egli chiama *ananke*); A 67 (II p. 101); A 69 (II p. 101); A 83 (II p. 105); A 89 (II p. 105); B 5 (II p. 135, 9 s.); B 164 (II p. 177, 4 ss.); 167 (II p. 178); cfr. Platone, *Repubblica* X 620 e.

Aristofane fa oggetto della sua efficace e divertita parodia, e del suo gioco linguistico l'idea del vortice come principio dell'universo, vd. *Nuvole* 380 s.; 828; 1470-1473; cfr. 424; *Uccelli* 697.

Fonte per alcuni dei frammenti ricordati dei Presocratici, è proprio il testo di Aristotele (vd. per es. *Fisica* II 4, 196 a 24 ss.; *Cielo* II 1, 284 a 24 ss.; III 2, 300 b 1 ss.) che analizza e giudica le opinioni dei suoi predecessori. Nel trattato sul *Cielo*, in particolare, l'esposizione e la confutazione delle teorie precedenti relative alla forma, e alla posizione della Terra, ripropongono l'immagine del vortice e del suo centro, in cui va a finire la terra (συνῆλθεν ἐπὶ τὸ μέσον φερομένη διὰ τὴν δίνησιν): «questa è la causa che tutti adducono, basandosi su ciò che accade nei liquidi e nell'aria: gli oggetti più grandi e più pesanti sono sempre portati verso il centro del vortice» (II 13, 295 a 9-13; vd. anche l'argomentazione seguente: 295 a 13-296 a 23). *Dinesis* e *kylisis* ('rotolamento') sono movimenti di corpi sferici (II 8, 290 a 9 s.).

Con questo passo della *Meccanica* può essere utilmente confrontata la descrizione della formazione di vortici, a livello del suolo, di turbini nel vento (κύκλον καὶ δίνην ... τοῦ πνεύματος), e del tifone, nella *Meteorologia* (III 1, 370 b 17-371 a 15; cfr. Seneca, *Questioni naturali* V 13). Correnti e vortici che avvengono sia nei venti sia nel mare sono ricordati nel trattato sul *Cosmo* (4, 396 a 23 s.). Nei *Sogni*, i piccoli vortici che si formano nei fiumi sono portati a esempio del continuo divenire di movimenti, di impulsi sensoriali simili, a meno che non intervenga un ostacolo (3, 461 a 8-11): il paragone è particolarmente significativo se si tiene conto del rapporto stabilito da Aristotele tra sfera somatica e processo psichico. Anche nella *Riproduzione degli animali*, lo stesso esempio vale a confermare la conservazione di una *kinesis* (IV 4, 772 b 18-22).

La funzione euristica dell'efficace immagine del vortice, quasi costantemente assimilata a quella del cerchio, e talora associata a quella della spirale, è ben evidente in un passo dei *Problemi*: «Perché le navi che navigano col tempo buono, sono talora inghiottite dal mare, e spariscono a tal punto che non ne resta a galla neppure un relitto? Forse, quando si spalanca uno spazio cavernoso nel fondo del mare, queste navi sono trascinate col movimento dell'aria al fondo del mare? Allo stesso modo, anche l'acqua del mare si muove circolarmente ed è trascinata verso il basso. Questo è ciò che si chiama un vortice – δῖνος. Nello Stretto di Messina il fenomeno si verifica per effetto della corrente che produce i vortici; così le navi vengono inghiottite negli abissi del mare, e anche perché il mare è profondo e il fondale pieno di caverne per un ampio tratto. Con violenza i vortici le trascinano in queste cavità, ed è questo il motivo per cui nella zona non galleggiano i relitti. La corrente si forma quando, esaurita la prima ventata, soffia un vento in direzione contraria sul mare che si muove ancora sotto la spinta del vento precedente [...] Per questo affrontarsi, le correnti d'aria sono premute e spinte lateralmente, come nei

fiumi, e si formano i vortici. Il movimento parte dall'alto e ha un andamento a spirale, assai violento. E dal momento che le correnti non possono muoversi di lato, perché si respingono l'una con l'altra, devono spingersi in profondità; di conseguenza, anche quello che viene preso dal vortice viene trascinato giù insieme con esse [...]» (XXIII 5, 931 b 39-932 a 20; cfr. *Cose straordinarie* 130, 843 a 19 ss.: anche qui si descrive ciò che accade nello Stretto di Messina).

L'immagine di onde circolari e concentriche che si propagano nell'aria ha una funzione anche nella spiegazione di come si diffonda la voce, vd. la mia introduzione al trattato sui *Suoni*, ed. 2008, pp. 179; 204 n. 39. Nei *Problemi* del *C. A.*, si afferma che la voce si propaga in ogni direzione e in cerchio (XI 8, 899 b 35 s.: in questo problema si parla del diffondersi dell'eco nelle case, ma può esservi anche un riferimento ai vasi acustici utilizzati nei teatri antichi; la conoscenza del modo in cui il suono si propaga sembra d'altra parte aver influito sulla configurazione dei teatri). Cfr. Crisippo, fr. 425 *SVF* II p. 140; Vitruvio, *Architettura* V 3, 6-7.

[306] Questo rapporto tra tutti i punti della circonferenza e il centro è una proprietà del cerchio più volte sottolineata nel corso del tempo (vd. Ferrini – *L'inizio* – 1999, p. 15). Qui rinvio a un passo del trattato sul *Cielo*, in cui Aristotele ricorda la teoria secondo cui ogni cosa, che sia collocata al centro e sia in un identico rapporto con i punti estremi, deve rimanere immobile (II 13, 295 b 10-25). Il centro rappresenta il punto di quiete.

Si conclude con questa affermazione l'esposizione della prima possibile causa.

[307] Leonico Tomeo traduce: «non idem enim in tempore aequali magnus cum parvo revolvitur circulus, quando circa idem fuerint medium»; così anche Monantheuil: «non enim idem spatium [...]». Cappelle scrive in apparato: «Legendum οὐ τὸ αὐτὸ et sic vertimus» (p. 120). L'emendamento è seguito da Forster; si potrebbe anche leggere: τὸ αὐτὸ κτλ <οὐ> στρέφεται. L'autore riprende un concetto più volte espresso; vd. poco più avanti la l. 27.

Piccolomini individua nella non uguale velocità dei due cerchi («non eadem celeritate movetur minor ac maior circulus, si circa idem centrum, constituti fuerint», f. LXIX r.) la terza causa, che egli giudica risolutiva: «questa terza causa [...] solve manifestamente e perfettamente la presente questione. la prima è parimente certissima, se ben la seconda non è forse molto secura, né di molto valore» (trad. di Biringucci, p. 118). Anche Baldi distingue tre 'ragioni' (con qualche differenza rispetto a Piccolomini; la distinzione fra tre cause è già nel commento di Leonico Tomeo): la terza fa riferimento alla diversa velocità dei cerchi. Il suo giudizio negativo, anche se temperato dal riconoscimento di ingegnosità e acume (p. 186: «Hae sunt

rationes, licet obscurissime propositae, quibus [...] utitur Aristoteles. acutae sane illae quidem, attamen haudquaquam ultro admittendae»), e le sue proposte argomentative non lo distolgono dal tributare una lode finale ad Aristotele: «Certe Philosopho tantae auctoritatis contradicere, magnae videtur audaciae, aut potius insaniae» (p. 189).

[308] Molti commentatori di questo problema hanno osservato che i vortici formano delle spirali, non dei cerchi concentrici; alcuni di essi richiamano realtà e luoghi geografici a dimostrazione, e l'utilità per chi naviga di conoscere la pericolosità dei vortici, citando anche versi di antichi poeti; vd. Monantheuil, p. 209 ss.; Baldi, p. 186 ss.; Guevara, p. 274 ss.; Cappelle (p. 282; cfr. Cardano, *De rerum varietate* I 6, III p. 23 ed. Buck 1966; si può anche ricordare l'importante funzione dei vortici nella fisica cartesiana). In realtà, l'autore può aver operato un'assimilazione: tutto il trattato (non solo alcune questioni, tra cui famosissima quella della 'ruota') testimonia la riflessione assidua e penetrante del Peripato sulle proprietà dei cerchi in rotazione.

L'immagine del 'vortice' ripropone alla fine quella del cerchio, una figura particolarmente adatta, nelle più varie culture, a raffigurare fenomeni fisici e cosmologici, biologici e psichici, aspetti della vita e dell'esperienza umana, a costituire da modello valido epistemologicamente. Il ricorso all'immagine è stato spesso nella storia della scienza un'esigenza e una necessità: talora l'immagine ha rappresentato solo una comoda e utile generalizzazione, talora si è sostituita invece alla spiegazione; si osserva in ogni caso la tendenza a trasformarla in strumento interpretativo ed euristico, adatto a esprimere in modo icastico una più complessa teoria, o a riassumere una multiforme realtà, rendendola più analizzabile e comprensibile dal *logos*. Il pensiero e l'immagine, come afferma Aristotele, si accompagnano sempre: «quando si pensa, necessariamente si pensa insieme un'immagine» (*Anima* III 8, 432 a 8 s.) Ovviamente pensiero e immagine si influenzano sempre reciprocamente.

Il cerchio è la prima delle figure piane (così come la sfera è la prima delle figure solide, vd. *Cielo* II 4, 286 b 23 s.); sulle sue sorprendenti e 'meravigliose' proprietà, l'autore si è soffermato nell'introdurre l'argomentazione, esaltandole: ora la *dinesis* la conclude. Certamente, la *dinesis* di cui egli parla è un movimento locale, ma carico di analogie, se si pensa alle teorie cosmologiche dei Presocratici, e alla posizione che Aristotele assegna alla Terra. Sempre di più l'attenzione è diretta al 'centro', punto quanto mai rilevante sia del cerchio (vd. 847 b 19-21: il cerchio trae origine da ciò che ha una natura contraria, cioè da ciò che si muove e da ciò che rimane fermo), sia del vortice, per ciò che lì viene risucchiato, secondo una facile con-

statazione che diventa metafora anche di condizioni dell'esistenza (vd. la nota 305), e di possibili travolgimenti (vd. Platone, *Cratilo* 439 c; cfr. 411 b).

L'autore conclude così riprendendo il modello esplicativo applicato quasi costantemente. Il principio dei cerchi concentrici spiega questa volta non soltanto il movimento dei vortici, immaginato come il movimento di onde concentriche, ma soprattutto il moto di ciò che in essi va a finire. La schematizzazione proposta può essere in collegamento con altre più ampie teorie cosmologiche; la stessa immagine del vortice fa per così dire da mediazione tra livelli diversi di indagine. Se la rotazione dei corpi continui, come è appunto l'acqua o ogni liquido (vd. per es. *Fisica* IV 7, 214 a 31 s.), richiama un ambito di ricerca concentrata sui fenomeni terrestri, 'sublunari', il movimento circolare è tuttavia peculiare del cielo e dell'universo. Come noto, Aristotele incorpora il sistema delle sfere di Eudosso nella propria cosmologia; peraltro, la teoria aristotelica dei luoghi e dei movimenti naturali fa sì che la Terra resti ferma al centro, perché l'elemento terra si muove naturalmente verso il centro, e ha come luogo naturale il centro. All'inizio del trattato, con la distinzione tra movimento 'naturale' e movimento 'contro natura', e alla fine, con l'immagine del vortice e del raccogliersi degli oggetti al centro, l'autore sembra richiamare seppure implicitamente un'immagine e una visione più ampia dei fenomeni da lui considerati, e un 'meccanismo' che conduce necessariamente a un punto centrale, e che può alludere a una struttura dell'universo, col suo significativo centro.

Figure
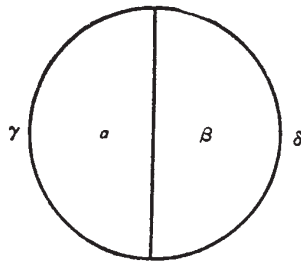
Fig. 1 (da Forster)
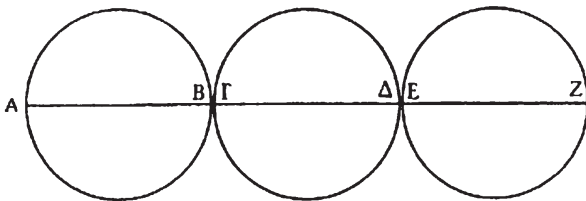
Fig. 2 (da Hett)
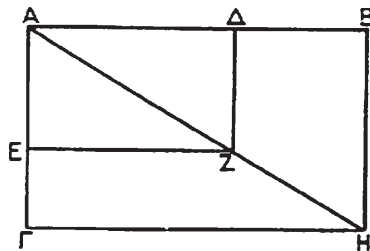
Fig. 3 (da Forster)

* Ringrazio il dr. Agostino Regnicoli per la scansione delle immagini.
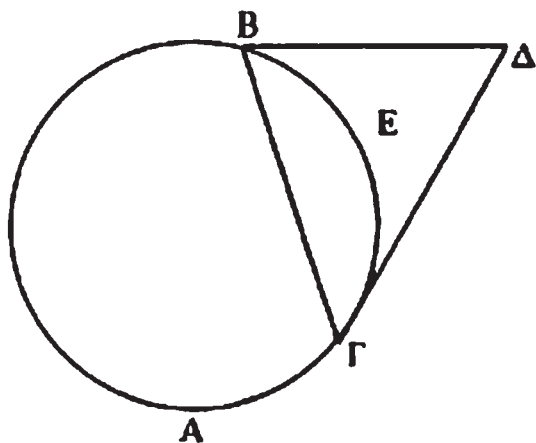
Fig. 4 (da Hett)
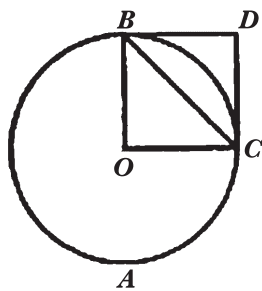
Fig. 4 a (da Heath)
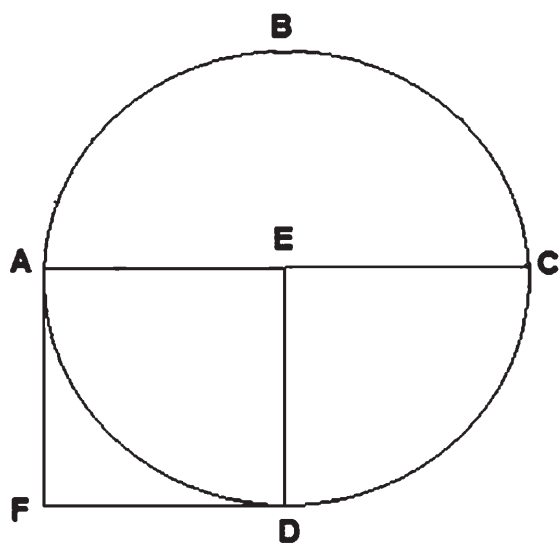
Fig. 4 b (ricostruita in base al disegno di Guevara)
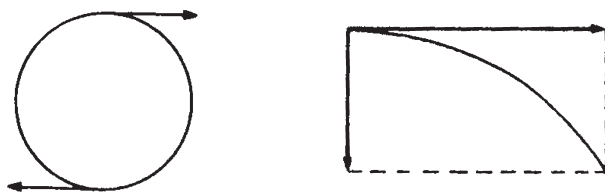
Fig. 4 c (da De Gandt)
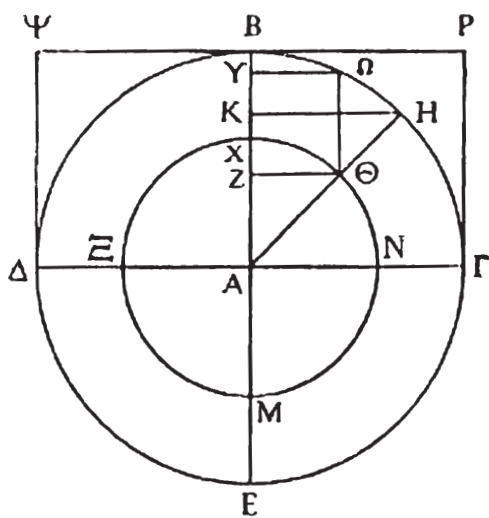
Fig. 5 (da Hett)
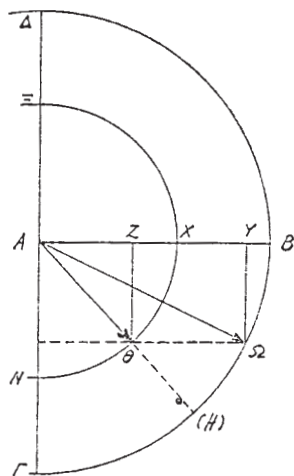
Fig. 5 a (da Krafft)
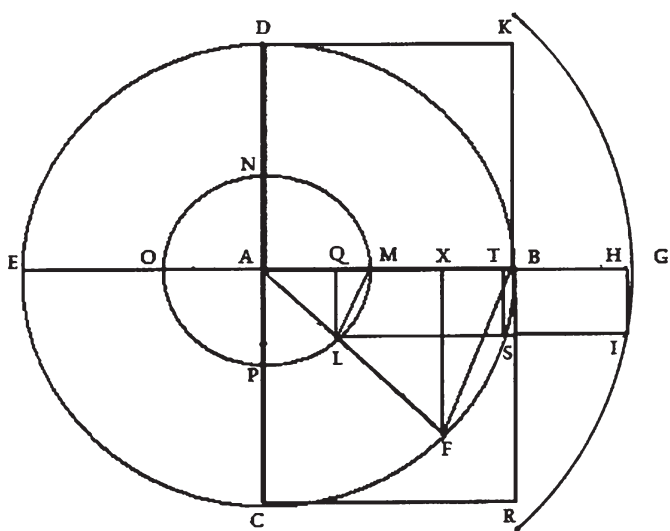
Fig. 5 b (ricostruita in base al disegno di Guevara)
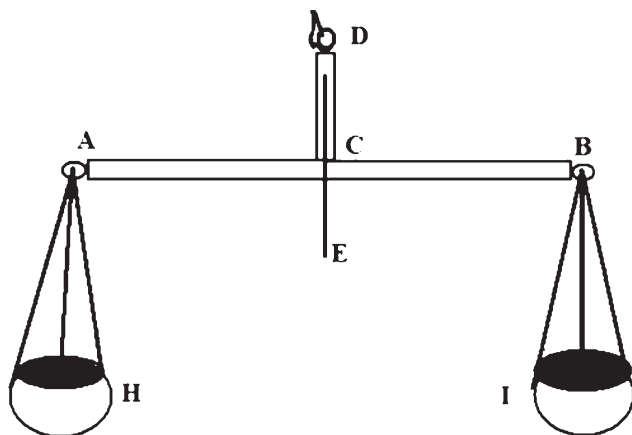
Fig. 6 (ricostruita in base al disegno di Monantheuil)
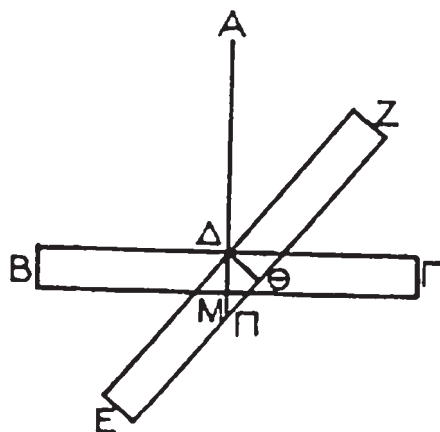
Fig. 7 (da Forster)
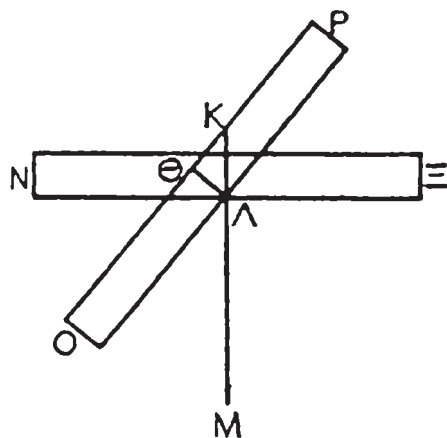
Fig. 8 (da Forster)
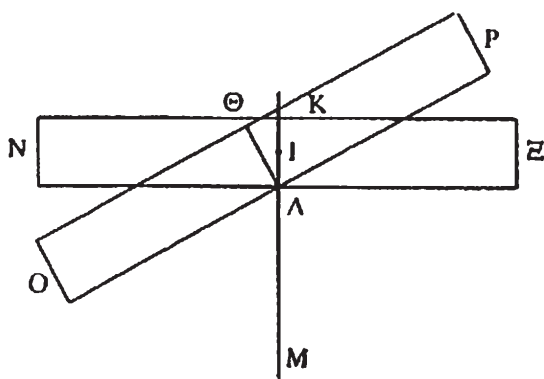
Fig. 8 a (da Hett)

Fig. 9 (da Hett)

Fig. 10 (da Hett)
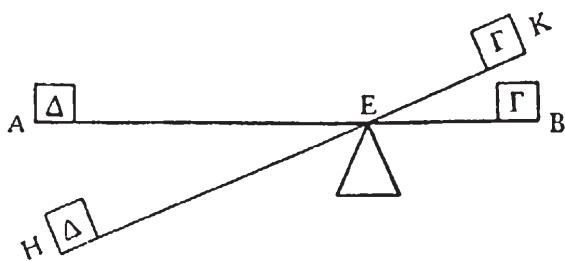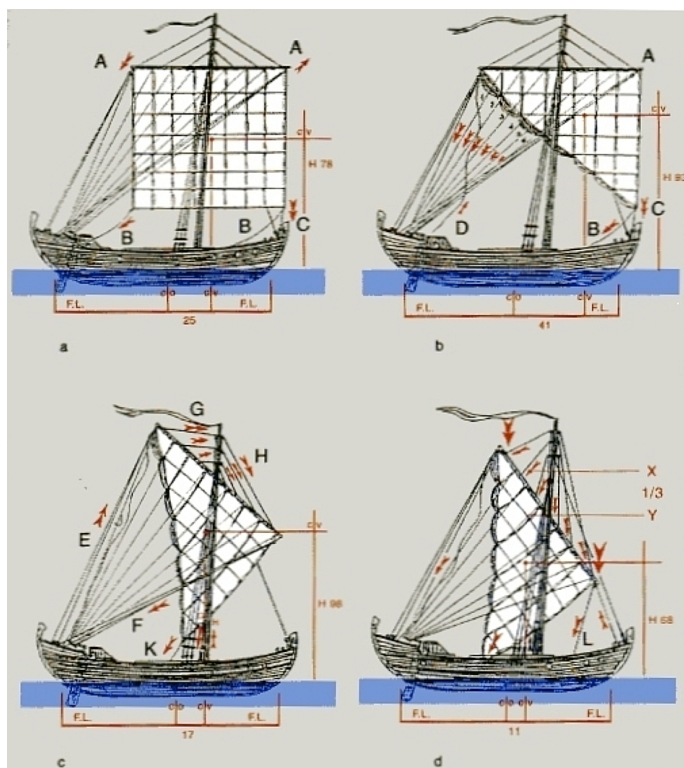
Fig. 10 a (da Forster)

Fig. 11 (da Medas)
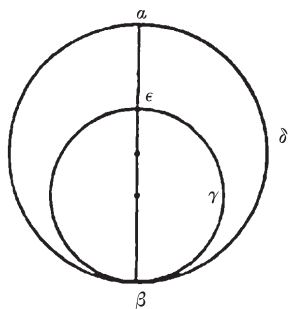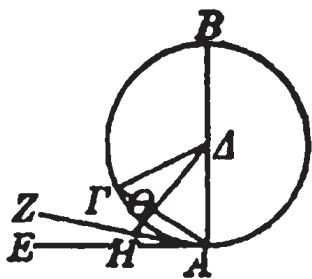
Fig. 12 (da Acerbi) Fig. 12 a (da Forster)
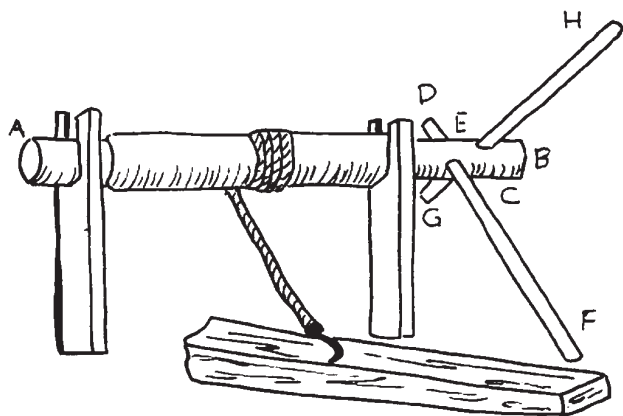
Fig. 13 (ricostruita in base al disegno di Piccolomini)
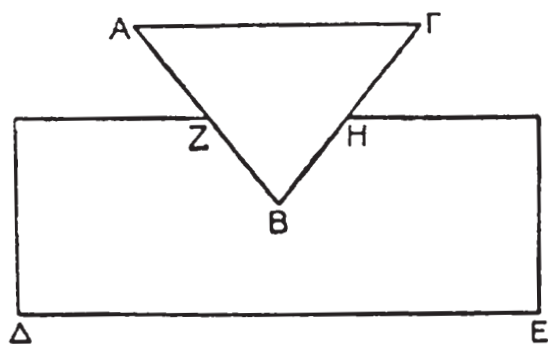
Fig. 14 (da Forster)
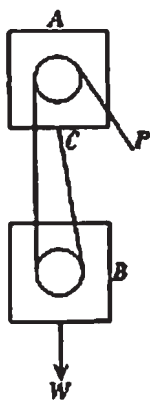
Fig. 15 (da Heath)
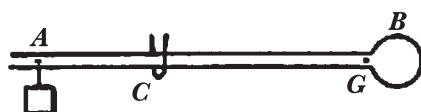
Fig. 16 a (da Heath)
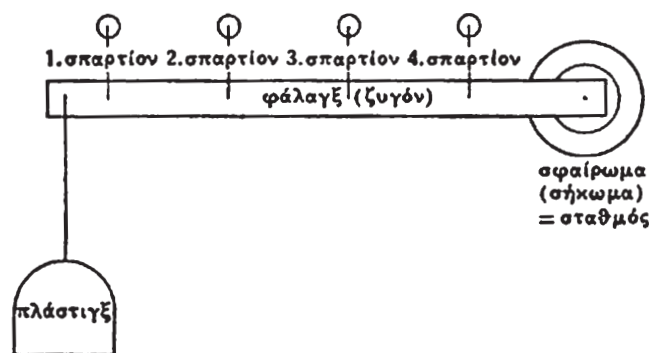
Fig. 16 b (da Gohlke)
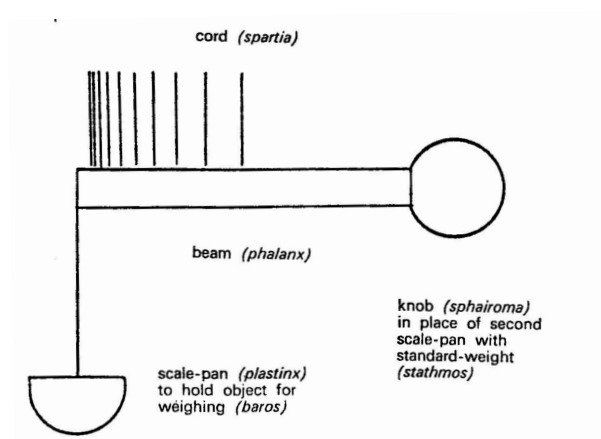
Fig. 16 c (da Knorr)
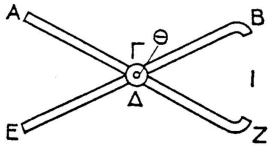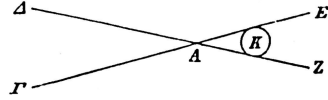
Fig. 17 (da Forster) Fig. 18 (da Apelt)
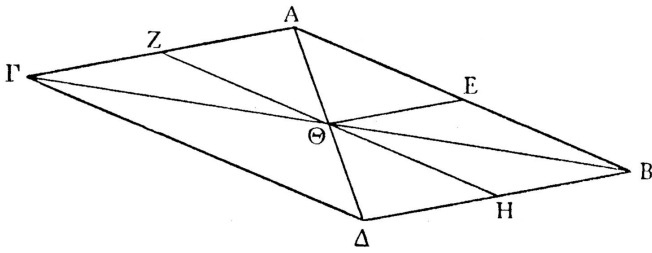
Fig. 19 (da Hett)
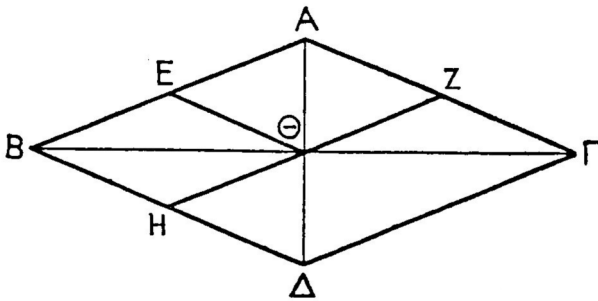
Fig. 19 (da Forster)
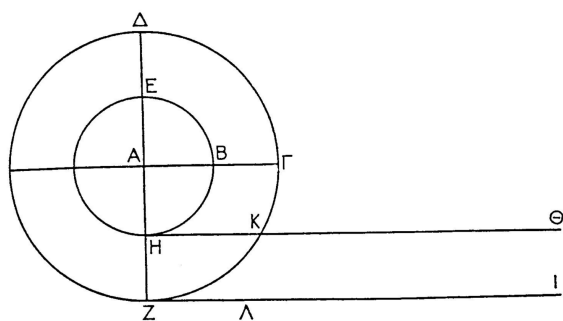
Fig. 20 (da Forster)
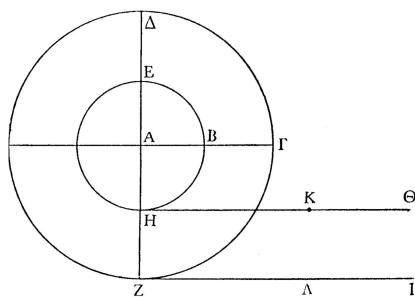
Fig. 20 (da Hett)
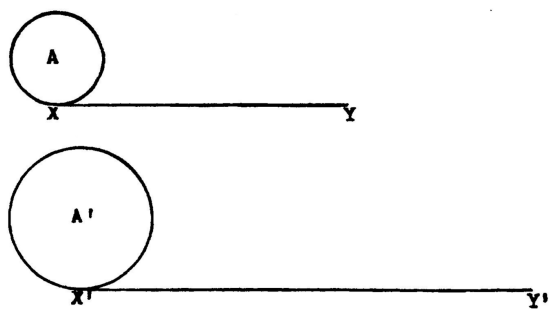
Fig. 20 a (da Drabkin)
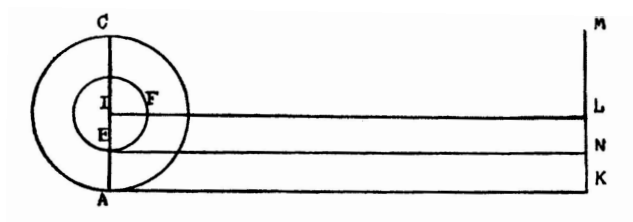
Fig. 20 b (da Drabkin)
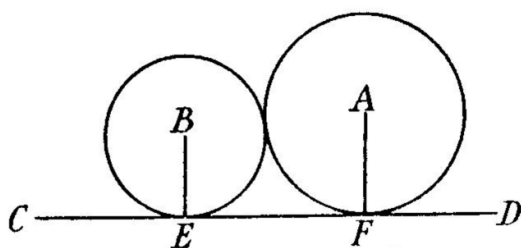
Fig. 20 c (da Heath)
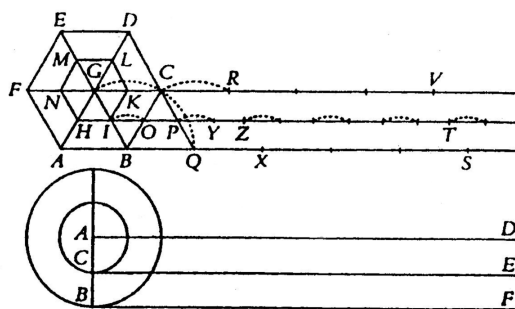
Fig. 20 d (da Favaro)

Fig. 21 (da Forster)
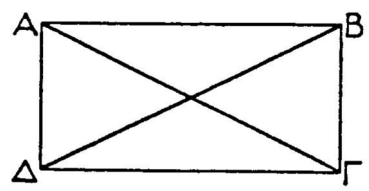
Fig. 21 a (da Forster)
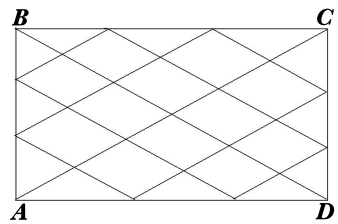
Fig. 21 b (ricostruita in base al disegno di Leonico Tomeo)
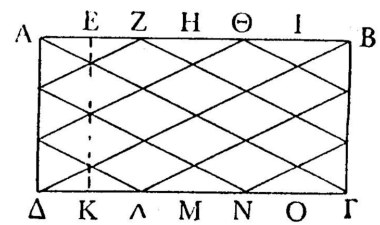
Fig. 21 c (da Hett)
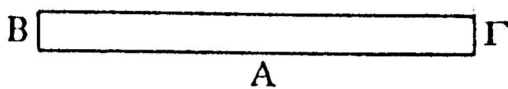
Fig. 22 (da Hett)
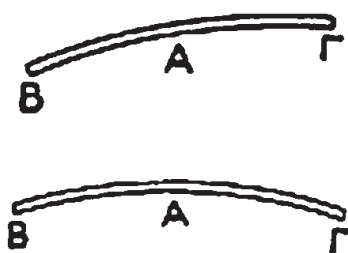
Fig. 22 (da Forster)
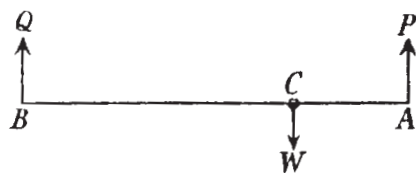
Fig. 23 (da Heath)
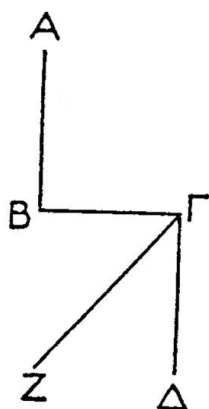
Fig. 24 (da Forster)
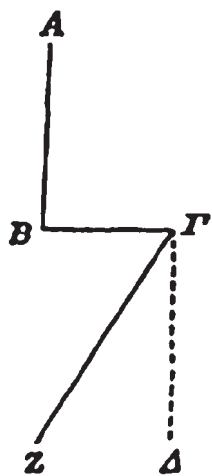
Fig. 24 (da Apelt)

Bibliografia

Edizioni principali[1]

1497 Τῶν ἐν τῇδε τῇ βίβλῳ περιεχομένων, ὀνόματα καὶ τάξις […] Venetiis, in domo Aldi.

1527 Τῶν ἐν τῇδε τῇ βίβλῳ περιεχομένων, ὀνόματα καὶ τάξις […] Omnia ex exemplaribus N. Leonici Thomaei diligenter emendata, Florentiae, per haeredes Philippi Iuntae.

1531 *Aristotelis summi semper viri* […] *opera quaecumque impressa hactenus extiterunt omnia, summa cum uigilantia excusa*. Per Des.[iderium] Eras.[mum] Roterodamum, Basileae, apud Io. Beb.[elium].

1539 *Aristotelis summi semper viri* […] *opera quaecumque impressa hactenus extiterunt omnia* […] Per Des. Eras. Roterodamum, Basileae, per Io. Beb. et Mich. Ising.[rinium].

1550 *Aristotelis summi semper philosophi opera quaecumque hactenus extiterunt omnia* […] Per Des. Eras. Roterodamum, Basileae, per Io. Beb. et Mich. Ising.

1552 *Aristotelis Problemata cum Alex. Aphrodis. Probl. et Mechanica, et Metaphysices disciplinam continens tomus IIII*, Venetiis, Aldi Filii (*Aldina minor* del Camozzi).

1566 *Aristotelis Mechanica*, Parisiis, Apud Andream Wechelum.

1587 *Aristotelis Varia Opuscula* […] *Mechanica problemata* […], Francofurdi, apud Andreae Wecheli heredes, Ioann. Aubrium, & Claudium Marnium (ed. di F. Sylburg).

1590 *Operum Aristotelis* […] nova editio, Graece & Latine […] ex bibliotheca Isaaci Casauboni […] Lugduni, apud Guillelmum Laemarium.

1599 *Aristotelis Mechanica Graeca, emendata, Latina facta, & Commentariis illustrata*. Ab Henrico Monantholio Medico, & Mathematicarum artium Professore Regio. Ad Henricum IIII. Galliae & Navarrae Regem Christianissimum, Parisiis, Apud Ieremiam Perier.

[1] A completamento di questo elenco e del seguente, e per le ristampe, vd. Fabricius *BG* III pp. 260 s.; 305 ss.; l'edizione di Buhle 1791; Schwab 1896; Bonetti 1956; Cranz/ Schmitt 1984; Reale 1997.

1619 *Aristotelis Opera omnia quae extant graece & latine* [...] accessit [...] in omnes Aristotelis libros commentarius [...] authore Guillelmo Du Val [...] Lutetiae Parisiorum, typis regiis.

1800 *Eclogae physicae*, ex scriptoribus praecipue graecis excerptae in usum studiosae literarum juventutis a Jo. Gottlob Schneider, Jenae et Lipsiae, sumtibus Friederici Frommanni.

1812 *Aristotelis Quaestiones mechanicae* Recensuit et illustravit Joannes Petrus van Cappelle, Amstelodami, apud Petrum den Hengst et filium.

1831 *Aristoteles graece* ex recensione Immanuelis Bekkeri Edidit Academia Regia Borussica Volumen alterum, Berolini, apud Georgium Reimerum.

1832 *Aristotelis Mechanica Problemata De lineis insecabilibus De audibilibus De coloribus Physiognomica* [...] Editio stereotypa, Lipsiae, ex officina Caroli Tauchnitii (vol. XVI).

1843 *Aristotelis Opera omnia* quae extant uno volumine comprehensa [...] edidit Carolus Hermannus Weise. Editio stereotypa, Lipsiae, sumptibus et typis Caroli Tauchnitii.

1857 *Aristotelis Opera omnia*. Graece et latine cum indice nominum et rerum absolutissimo, Parisiis, editore Ambrosio Firmin Didot (vol. IV 1 curato da C. Bussemaker).

1888 *Aristotelis quae feruntur De plantis, De mirabilibus auscultationibus, Mechanica, De lineis insecabilibus, Ventorum situs et nomina, De Melisso Xenophane Gorgia* edidit Otto Apelt, Lipsiae, in aedibus B. G. Teubneri.

1936 Aristotle *Minor Works* with an English translation by W. S. Hett, London/ Cambridge (Mass.), William Heinemann/ Harvard University Press.

1960 *Aristotelis Opera* ex recensione Immanuelis Bekkeri Edidit Academia Regia Borussica Editio altera quam curavit Olof Gigon Volumen alterum, Berolini, apud W. de Gruyter et socios.

1982 Aristotele ΜΗΧΑΝΙΚΑ Tradizione manoscritta Testo critico Scolii a cura di Maria Elisabetta Bottecchia, Padova, Editrice Antenore («Studia Aristotelica» 10).

Traduzioni e commenti[2]

1517 *Aristotelis Mechanica* Victoris Fausti industria in pristinum habitum restituta ac latinitate donata, s. l., vaenundatur in aedibus Iodoci Badii.

1525 *Nicolai Leonici Thomaei Opuscula* nuper in lucem aedita, ex Venetiis, ex impressione repraesentauit Bernardinus Vitalis venetus.

1530 *Nicolai Leonici Thomaei Opuscula* nuper in lucem aedita, Parisiis, apud Simonem Colinaeum.

1545 Diego Hurtado de Mendoça *Mechanica de Aristotiles* (traduzione pubblicata in «Revue Hispanique» 5, 1898, pp. 365-405, rist. New York 1961).

1547 *Alexandri Piccolominei in Mechanicas quaestiones Aristotelis, Paraphrasis* paulo quidem plenior, Romae, apud Antonium Bladum Asulanum.

1560 *Tomus undecimus operum In quo libelli quidam spurii Aris. ascripti continentur. De rebus auditu admirabilibus. De Xenophane, Zenone, & Gorgia. De mundo. Quaestiones mechanicae. De lineis insecabilibus.* Solutiones contradictionum in dictis Arist.& Auerr. Marci Antonii Zimarae, Venetiis, apud Cominum de Tridino Montisferrati.

1562 *Septimum volumen Aristotelis Stagiritae Extra ordinem Naturalium varij Libri*, Venetiis, apud Iunctas.

1570 *Hieronymi Cardani mediolanensis philosophi ac medici celeberrimi Opus novum* de proportionibus numerorum, motuum, ponderum, sonorum, aliarumque rerum mensurandarum [...] Basileae, Ex Officina Henricpetrina.

1573 *Le Mechanice d'Aristotile trasportate di greco in volgare idioma*. Con le sue dechiarationi nel fine, con l'ordine de numeri de capitoli, in particolar uolume da se, In Modona, appresso Andrea Gadaldino.

1573 *Petri Nonii Salaciensis De arte atque ratione nauigandi libri duo. Eiusdem* [...] *in Problema mechanicum Aristotelis de*

[2] Nell'elenco sono compresi solo alcuni dei commenti; a integrazione delle numerose note di lettura, degli appunti di lezioni, delle considerazioni, valutazioni e discussioni selettive contenute in opere di carattere scientifico, tecnico e filosofico, vd. la sezione dedicata ai «Lettori e traduttori della *Meccanica* nel Rinascimento», le note di commento al testo, e la bibliografia generale.

Motu nauigij ex remis annotatio una [...], Conimbricae, In aedibus Antonij à Marijs, Uniuersitatis Typographi.

1581 *Francisci Patricii Discussionum Peripateticarum Tomi IV*, Basileae, ad Perneam Lecythum.

1582 *Parafrasi di Monsignor Alessandro Piccolomini arcivescovo di Patras, sopra le Mecaniche d'Aristotile*, tradotta da Oreste Vannocci Biringucci, Gentilomo Senese, In Roma, per Francesco Zanetti.

1585 *Io. Baptistae Benedicti Patritij Veneti Philosophi Diversarum Speculationum Mathematicarum, & Physicarum Liber*, Taurini, Apud Haeredem Nicolai Beuilaquae.

1599 vd. ed.

1613 *D. Francisci Maurolyci Abbatis Messanen. Problemata Mechanica cum appendice, & ad Magnetem, & ad Pixidem Nauticam pertinentia*. Omnia nunc primum in lucem edita, Messanae, Ex Typographia Petri Breae.

1615 *Aristotelis Loca Mathematica Ex uniuersis ipsius Operibus collecta, & explicata*. Aristotelicae videlicet expositionis complementum, hactenus desideratum. Accessere de Natura Mathematicarum scientiarum Tractatio; atque Clarorum Mathematicorum Chronologia. Authore Josepho Blancano Bononiensi è Societate Iesu, Mathematicarum in Gymnasio Parmensi Professore, Bononiae, Apud Bartholomaeum Cochium.

1621 *Bernardini Baldi Urbinatis Guastallae Abbatis In Mechanica Aristotelis Problemata Exercitationes*: adiecta succincta narratione de autoris vita & scriptis, Moguntiae, Typis & Sumptibus Viduae Ioannis Albini.

1627 *Ioannis de Gueuara Cler. Reg. Min. In Aristotelis Mechanicas Commentarij,* una cum additionibus quibusdam ad eandem materiam pertinentibus, Romae, apud Iacobum Mascardum.

1801 *Anmerkungen und Erläuterungen über die Eclogas Physicas* [...] von Johann Gottlob Schneider, Jena und Leipzig, bei Friedrich Frommann.

1812 vd. ed.

1829 (1832) vd. Poselger (Bibl. gen.).

1913 E. S. Forster, *Mechanica*, in W. D. Ross, ed., *The works of Aristotle translated into English*, vol. VI *Opuscula*, Oxford, at the Clarendon Press.

1936 vd ed.

1957 Aristoteles *Kleine Schriften zur Physik und Metaphysik*, Paderborn, Ferdinand Schöningh («Die Lehrschriften» 4, 5; a cura di Paul Gohlke).

1962 rist. ed. 1562, Frankfurt am Main, Minerva.
1970 vd. Krafft (Bibl. gen.).
1984 E. S. Forster, *Mechanics*, in J. Barnes, ed., *The complete works of Aristotle* The revised Oxford translation, Princeton, UP (si cita dalla sesta ristampa, con correzioni, del 1995).
1995 vd. Micheli (Bibl. gen.).
2000 Aristotele *Problemi meccanici* Introduzione, testo greco, traduzione italiana, note a cura di Maria Elisabetta Bottecchia Dehò, Soveria Mannelli (Catanzaro), Rubbettino («Studia Aristotelica» n. s. 1, 13).

Studi sulla tradizione aristotelica e sull'aristotelismo

Aa. Vv., *Autour d'Aristote. Recueil d'études de philosophie ancienne et médiévale offert à Monseigneur A. Mansion*, Louvain 1955.

Aa. Vv., *Aristotele nella critica e negli studi contemporanei*, Milano 1956 (suppl. «Riv. Filos. Neosc.» 48).

Adamson P./ Balthussen H./ Stone M. W. F., edd., *Philosophy, science and exegesis in Greek, Arabic & Latin commentaries*, vol. 1 («Bull. Instit. Class. St.» Suppl. 83) London 2004.

Antonaci A., *Ricerche sull'Aristotelismo del Rinascimento: Marcantonio Zimara*, Lecce-Galatina 1971.

Argyropoulos R. D./ Caras I., *Inventaire des manuscrits grecs d'Aristote et de ses commentateurs. Contribution à l'histoire du texte d'Aristote. Supplément*, Paris 1980 (vd. anche rec. di Ph. Hoffmann, «Rev. Ét. Anc.» 83, 1981, pp. 352-356).

Benakis L.G., Michael Psellos *Kommentar zur Physik des Aristoteles*, Athenai 2008 («Commentaria in Aristotelem Byzantina» 5).

Berti E., *La filosofia del «primo» Aristotele* Presentazione di G. Reale, Milano 1997^{2} (Firenze 1962).

Birkenmajer A., *Classement des ouvrages attribués à Aristote par le Moyen Âge latin*, Cracovie 1932.

Bonetti A., *Le edizioni del testo greco di Aristotele dal 1831 ai giorni nostri*, in Aa. Vv. 1956, pp. 167-201.

Bonitz H., *Index aristotelicus*, Berolini 1961 (rist. ed. 1870).

Bonitz H., *Aristotelische Studien*, Hildesheim 1969 (rist. ed. Wien 1862-1867).

Brams J., *Guillaume de Moerbeke et Aristote*, in Hamesse/ Fattori 1990, pp. 317-336.

Brams J., *La riscoperta di Aristotele in Occidente*, Milano 2003.
Brams J./ Vanhamel W., edd., *Guillaume de Moerbeke.* Recueil d'études à l'occasion du 700e anniversaire de sa mort (1286), Leuven 1989.
Buhle J. G., *Aristotelis Opera omnia*, vol. I, Biponti 1791.
Busse A., ed., *Philoponi in Aristotelis Categorias commentarium*, Berolini 1898 (CAG XIII 1; rist. 1961).
Cranz F. E./ Schmitt Ch. B., *A bibliography of Aristotle editions 1501-1600*, Baden-Baden 1984² (1a ed. 1971).
Daiber H., *Salient trends of the Arabic Aristotle*, in Endress/ Kruk, 1997, pp. 29-41.
D'Ancona C./ Serra G., a c. di, *Aristotele e Alessandro di Afrodisia nella tradizione araba* (Atti del Colloquio 'La ricezione araba ed ebraica della filosofia e della scienza greche', Padova 1999), Padova 2002.
De Gregorio G., *Osservazioni ed ipotesi sulla circolazione del testo di Aristotele tra Occidente e Oriente*, in G. Cavallo/ G. De Gregorio/ M. Maniaci, edd., *Scritture, libri e testi nelle aree provinciali di Bisanzio*, Spoleto 1991, II pp. 475-498.
Dibdin Th. F., *An introduction to the knowledge of rare and valuable editions of the Greek and Latin classics*, Hildesheim/ New York 1977 (rist. ed. London 1827).
Diels H., ed., *Simplicii in Aristotelis Physicorum libros* […] *commentaria*, 2 voll., Berolini 1882 e 1895 (CAG IX e X; rist. 1954).
Diels H., *Aristotelica*, «Hermes» 40 (1905) pp. 301-316.
Düring I., *Notes on the history of the trasmission of Aristotle's writings*, «Symb. Philol. Gotob.» 56 (1950) pp. 37-70.
Düring I., *Aristotle in the ancient biographical tradition*, Göteborg 1957.
Düring I., *Aristoteles*, in *RE* Suppl. XI, Stuttgart 1968, coll. 159-336.
Düring I., *Aristotele*, Milano 1976 (tit. or.: *Aristoteles - Darstellung und Interpretation seines Denkens*, Heidelberg 1966).
Endress G./ Kruk R., edd., *The ancient tradition in Christian and Islamic Hellenism.* Studies on the transmission of Greek philosophy and sciences, dedic. to H. J. Drossaart Lulofs, Leiden 1997.
Ferrini M.F., Pseudo Aristotele *I colori* Edizione critica, traduzione e commento, Pisa 1999 (Testimonianze sulla cultura greca. Collana diretta da Franca Perusino, n. 1).
Ferrini M.F., a c. di, Aristotele *Problemi* Introduzione, traduzione, note e apparati, Milano 2002 (Collana Testi a fronte, nr. 62).

Ferrini M.F., *Nota al testo dei* Problemata *che fanno parte del* Corpus Aristotelicum. *La tradizione manoscritta*, «A.I.O.N.» (sez. filol.-lett.) 25 (2003) pp. 113-136.
Ferrini M.F., *Acqua e riflessione della luce in un passo dei* Problemata del Corpus Aristotelicum *(932a 32s)*, «Eikasmos» 17 (2006) pp. 151-156.
Ferrini M.F., a c. di, Aristotele *Fisiognomica* Introduzione, traduzione, note e apparati, Milano 2007 (Collana Testi a fronte, nr. 103).
Ferrini M.F.,῾Υπὸ σάρκα / ὑπὸ δέρμα: *tradizione manoscritta e congettura in un passo dei* Problemata *del* Corpus Aristotelicum, «Quad. Urb. Cult. Class.» n. s. 87, 3 (2007), pp. 127-136.
Ferrini M.F., a c. di, [Aristotele] *I colori e i suoni*, Milano 2008.
Filius L. S., ed., *The Problemata physica attributed to Aristotle. The Arabic version of Ḥunain ibn Isḥāq and the Hebrew version of Moses ibn Tibbon*, Leiden/ Boston/ Köln 1999.
Flashar H., ed., *Ältere Akademie Aristoteles - Peripatos*, Basel/ Stuttgart 1983 («Die Philosophie der Antike» 3).
Flashar H., *Aristoteles*, in Flashar 1983, pp. 175-457.
Flashar H./ Klein U., Aristoteles *Mirabilia/ De audibilibus*, Berlin 1990[3] (1ª ed. 1972; 2ª ed. corr. 1981 — «Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung» 18 II e III).
Flashar H., Aristoteles *Problemata physica*. Übersetzt und erläutert von Hellmut Flashar, Berlin 1991[4] («Aristoteles Werke in deutscher Übersetzung» 19; 1ª ed. 1962; vd. anche rec. di K. Abel, «Gnomon» 38, 1966, pp. 229-236).
Forster E. S., *The Pseudo-Aristotelian Problems: their nature and composition*, «Class. Quart.» 22 (1928) pp. 163-165.
Franceschini E., *Le traduzioni latine aristoteliche e pseudaristoteliche del codice Antoniano XVII, 370*, «Aevum» 9 (1935) pp. 3-26.
Franceschini E., *Ricerche e studi su Aristotele nel Medioevo latino*, in Aa. Vv. 1955, pp. 144-166.
Garin E., *Le traduzioni umanistiche di Aristotele nel sec. XV*, «Atti e Memorie Acc. Fior. Sc. Mor. 'La colombaria'» n. s. 2 (1947-50) pp. 55-104.
Garin E., *Aristotelismo veneto e scienza moderna*, Padova 1981.
Gercke A., *Aristoteles*, in *RE* II 1, Stuttgart 1895, coll. 1012-1054.
Gigon O., ed., *Aristotelis Opera*, volumen tertium, Librorum deperditorum fragmenta, Berolini et Novi Eboraci 1987.
Golitsis P., *Les Commentaires de Simplicius et de Jean Philopon à la* Physique *d'Aristote Tradition et innovation*, Berlin/ New

York 2008 (*Commentaria in Aristotelem Graeca et Byzantina*, «Quellen und Studien» 3).

Goulet R., ed., *Dictionnaire des philosophes antiques* I, Paris 1989.

Goulet R., ed., *Dictionnaire des philosophes antiques* Supplément, Paris 2003.

Grabmann M., *Forschungen über die lateinischen Aristoteles-Übersetzungen des XIII. Jahrhunderts*, Münster 1916 («Beitr. z. Gesch. d. Philos. d. Mittelalters» 17, 5-6).

Grabmann M., *Guglielmo di Moerbeke il traduttore delle opere di Aristotele*, Roma 1946 («Miscellanea Historiae Pontificiae» vol XI, n. 20).

Hadot I., *La division Néoplatonicienne des écrits d'Aristote*, in Wiesner 1987, II pp. 249-285.

Hamesse J./ Fattori M., edd., *Rencontres de cultures dans la philosophie médiévale. Traductions et traducteurs de l'antiquité tardive au XIVe siècle* Actes du coll. intern. Cassino 1989, Louvain-La-Neuve – Cassino 1990.

Harlfinger D./ Wiesner J., *Die griechischen Handschriften des Aristoteles und seiner Kommentatoren*, «Scriptorium» 18 (1964) pp. 238-257.

Harlfinger D., *Die Textgeschichte der pseudo-aristotelischen Schrift* Περὶ ἀτόμων γραμμῶν. *Ein kodikologisch-kulturgeschichtlicher Beitrag zur Klärung der Überlieferungsverhältnisse im Corpus Aristotelicum*, Amsterdam 1971.

Harlfinger D., ed., *Griechische Kodikologie und Textüberlieferung*, Darmstadt 1980.

Heiberg I.L., ed., *Simplicii in Aristotelis De caelo commentaria*, Berolini 1894 (CAG VII; rist. 1958).

Heitz E., *Die verlorenen Schriften des Aristoteles*, Leipzig 1865.

Huby P. M., *The transmission of Aristotle's writings and the places where copies of his works existed*, «Class. et Med.» 30 (1969) pp. 241-257.

Jacquart D., ed., *Les voies de la science grecque Études sur la transmission des textes de l'Antiquité au dix-neuvième siècle*, Genève 1997.

Jourdain Ch., *Recherches critiques sur l'âge et l'origine des traductions latines d'Aristote et sur des commentaires grecs ou arabes employés par les docteurs scolastiques. Nouvelle édition revue et augmentée par Charles Jourdain*, Paris 1843 (l'ed. prec. di Amable Jourdain è del 1819).

Keßler E., ed., *Aristoteles latine*, München 1995 (rist. ed. Berlin 1831).

Kristeller P.O., *La tradizione aristotelica nel Rinascimento*, Padova 1962.

Lacombe G./ Birkenmajer A./ Dulong M./ Franceschini Aet., *Aristoteles latinus*, Pars prior, Roma 1939.

Lacombe G./ Birkenmajer A./ Dulong M./ Franceschini Aet./ Minio-Paluello L., *Aristoteles latinus*, Pars posterior, Cantabrigiae 1955.

Lohr Ch.H., ed., *Aristotelismus und Renaissance* In memoriam Charles B. Schmitt, Wiesbaden 1988.

Lohr Ch.H., *Commentateurs d'Aristote au Moyen-Âge Latin* Bibliographie de la littérature secondaire récente, Paris 1988.

Lohr Ch.H., *Latin Aristotle commentaries* II Renaissance authors, Firenze 1988.

Lohr Ch.H., *Latin Aristotle commentaries* III Index initiorum – Index finium, Firenze 1995.

Lucchetta G.A., *Dinamica dell'* impetus *e aristotelismo veneto*, in Olivieri 1983, II pp. 701-715.

Minio-Paluello L., *Aristoteles latinus Codices Supplementa altera*, Bruges/ Paris 1961.

Minio-Paluello L., *Opuscula The Latin Aristotle*, Amsterdam 1972.

Moraux P., *Les listes anciennes des ouvrages d'Aristote*, Louvain 1951.

Moraux P., *Der Aristotelismus bei den Griechen von Andronikos bis Alexander von Aphrodisias, Erster Band Die Renaissance des Aristotelismus im I. Jh. v. Chr.*, Berlin/ New York 1973.

Moraux P., *Der Aristotelismus bei den Griechen von Andronikos bis Alexander von Aphrodisias, Zweiter Band Der Aristotelismus im I. und II. Jh. n. Chr.*, Berlin/ New York 1984.

Moraux P., *L'Aristotelismo presso i Greci* vol. I *La rinascita dell'Aristotelismo nel I secolo a.C.*, prefazione di G. Reale, introduzione di Th. A. Szlezák vol. II 1 *Gli Aristotelici nei secoli I e II d.C.*, introduzione di G. Reale, vol. II 2 *L'Aristotelismo nei non-Aristotelici nei secoli I e II d.C.*, introduzione di G. Reale, Milano 2000 (tit. or. *Der Aristotelismus …* Berlin/ New York 1973 e 1984).

Moraux P./ Harlfinger D./ Reinsch D./ Wiesner J., *Aristoteles graecus. Die griechischen Manuskripte des Aristoteles. Alexandrien - London* (I), Berlin/ New York 1976.

Olivieri L., ed., *Aristotelismo veneto e scienza moderna*, 2 voll., Padova 1983.

Peters F. E., *Aristoteles arabus*. The oriental translations and commentaries on the Aristotelian Corpus, Leiden 1968 (vd. anche rec. di H. Daiber, «Gnomon» 42, 1970, pp. 538-547).

Plezia M., *De Ptolemaei vita Aristotelis*, in Wiesner 1985, I pp. 1-11.
Rashed M., *L'héritage aristotélicien* Textes inédits de l'Antiquité, Paris 2007.
Rose V., *De Aristotelis librorum ordine et auctoritate commentatio*, Berolini 1854.
Rose V., *Aristotelis qui ferebantur librorum Fragmenta*, Stutgardiae 1967 (1ª ed. 1886).
Rose V., *Aristoteles Pseudepigraphus*, Hildesheim/ New York 1971 (rist. ed. Leipzig 1863).
Roselli A., ed., [Aristotele] *De spiritu*, Pisa 1992.
Ross W.D., *Aristotelis Fragmenta selecta*, Oxonii 1958 (1ª ed. 1955).
Schmitt Ch. B., *Aristotle and the Renaissance*, Cambridge (Mass.)/ London 1983.
Schmitt Ch. B., *La tradizione aristotelica fra Italia e Inghilterra*, Napoli 1985.
Schmitt Ch. B., *Pseudo-Aristotle in the Latin Middle Ages*, in J. Kraye/ W. F. Ryan/ C. B. Schmitt, edd., *Pseudo-Aristotle in the Middle Ages The Teology and other texts*, London 1986 («Warburg Institute Surveys and Texts» 11).
Schwab M., *Bibliographie d'Aristote*, Paris 1896.
Sicherl M., *Handschriftliche Vorlagen der Editio princeps des Aristoteles*, Mainz/ Wiesbaden 1976 (Abhandl. d. Geistes- u. Sozialwiss. Klasse, 8).
Sicherl M., *Griechische Erstausgaben des Aldus Manutius. Druckvorlagen, Stellenwert, Kultureller Hintergrund*, Paderborn/ München/ Wien/ Zürich 1997.
Sicherl M., rec. a Harlfinger 1971, «Gnomon» 51 (1979) pp. 634-641.
Sorabji R., ed., *Aristotle transformed. The ancient commentators and their influence*, London 1990.
Susemihl F., *Geschichte der griechischen Litteratur in der Alexandrinerzeit* I, Leipzig 1891.
Tovar A., *Para la formación de la "Vita Marciana" de Aristóteles, sobre un nuevo fragmento en el códice Matritense 4676 (olim N 9)*, «Emerita» 11 (1943) pp. 180-200.
Verdenius W.J., *The nature of Aristotle's scholarly writings*, in Wiesner 1985, I pp. 12-21.
Vitelli H., ed., *Ioannis Philoponi in Aristotelis Physicorum libros* [...] *commentaria*, 2 voll., Berolini 1887/ 1888 (CAG XVI/ XVII; rist. 1960).
Wallace W.A., *Aristotelian influences on Galileo's thought*, in Olivieri 1983, I pp. 349-378 (pp. 379-403, trad. it.).

Wartelle A., *Inventaire des manuscrits grecs d'Aristote et de ses commentateurs. Contribution à l'histoire du texte d'Aristote*, Paris 1963.
Wehrli F., *Der Peripatos bis zum Beginn der römischen Kaiserzeit*, in Flashar 1983, pp. 459-599.
Wehrli F., ed., *Die Schule des Aristoteles,* voll. I-X (I *Dikaiarchos*; II *Aristoxenos*; III *Klearchos*; IV *Demetrios von Phaleron*; V *Straton von Lampsakos*; VI *Lykon und Ariston von Keos*; VII *Herakleides Pontikos*; VIII *Eudemos von Rhodos*; IX *Phainias von Eresos. Chamaileon. Praxiphanes*; X *Hieronymos von Rhodos, Kritolaos und seine Schüler*) Basel/ Stuttgart, 1967-1969[2]; Suppl. I-II (I *Hermippos der Kallimacheer*; II *Sotion*), Basel/ Stuttgart 1974-1978.
Wiesner J., ed., *Aristoteles Werk und Wirkung* Paul Moraux gewidmet, I-II, Berlin/ New York 1985-1987.
Wilson N. G., *From Byzantium to Italy. Greek studies in the Italian Renaissance*, London 1992.
Wingate S. D., *The Mediaeval Latin versions of the Aristotelian scientific Corpus, with special reference to the biological works* (diss. London 1930), London 1931.
Zeller E., *Die Philosophie der Griechen in ihrer geschichtlichen Entwicklung* II 2, Hildesheim 1963[5] (rist. ed. Leipzig 1921[4]).
Zonta M., *La filosofia antica nel Medioevo ebraico. Le traduzioni ebraiche medievali dei testi filosofici antichi*, Brescia 1996.

Bibliografia generale e studi specifici [3]

Aa. Vv., *Le projet de Vitruve. Objet, destinataires et réception du* De Architectura (Actes coll. intern. Rome 1993), Rome 1994 («Collection de l'École française de Rome» 192).
Aa. Vv., Leonardo da Vinci *Della natura, peso e moto delle acque Il codice Leicester* (Catalogo della Mostra, Venezia 1995), Milano 1995.
Aa. Vv., *Alexandria and Alexandrianism* (Symposium Paul Getty Museum 1993), Malibu 1996.

[3] Le traduzioni italiane utilizzate, con qualche adattamento, nell'introduzione e nel commento sono contenute nelle seguenti edizioni: Acerbi 2008; Carena 1974; Cerri 1999; Gentili 1998; Jori 2002; Lanza 2004; Lanza/ Vegetti 1996; Longo 1961; Mignucci 2007; Movia 1991; Pepe 2003; Reale 1993, 2006; 2008; Romano 1997; Ruggiu 2007; Timpanaro Cardini 1978; Torraca 1958; Vegetti 2007; Zanatta 2002; 2007; 2008.

Aa. Vv., *Les littératures techniques dans l'antiquité romaine* Statut, public et destination, tradition Introduction de C. Nicolet, Genève 1996 («Entretiens sur l'antiquité classique» XLII).
Abbagnano N./ Abetti G./ Almagià R./ Geymonat L., a c. di, *Storia delle scienze*, vol. 1, Torino 1965.
Acerbi F., Euclide *Tutte le opere* Introduzione, traduzione, note e apparati, Milano 2008² (1ª 2007).
Acerbi F., *Disjunction and conjunction in Euclid's* Elements, «Histoire Épistémologie Langage» 30, 1 (2008) pp. 21-47.
Agazzi E., ed., *Storia delle scienze* dal mondo antico al secolo XVIII, vol. 1, Roma 1984.
Albrecht H., *Maschinen*, in Sonnabend 1999, pp. 322-326.
Althoff J./ Herzhoff B./ Wöhrle G., edd., *Antike Naturwissenschaft und ihre Rezeption* IX Trier 1999; X Trier 2000; XV Trier 2005; XVI Trier 2006; XVII Trier 2007.
Amaturo R., *Baldi (Bernardino)*, in *DBI*, vol. 5, Roma 1963, pp. 461-464.
Aquilecchia G., a c. di, Giordano Bruno *Due dialoghi sconosciuti e due dialoghi noti* Idiota triumphans De somnii interpretatione Mordentius De Mordentii circino, Roma 1957.
Argoud G., ed., *Science et vie intellectuelle à Alexandrie* (Ier-IIIe Siècle après J.-C.), Saint-Étienne 1994 (Centre Jean-Palerne «Mémoires» XIV).
Argoud G./ Guillaumin J.-Y., edd., *Les pneumatiques d'Héron d'Alexandrie*, Saint-Étienne 1997 (Centre Jean-Palerne «Mémoires» XV).
Argoud G./ Guillaumin J.-Y., edd., *Sciences exactes et sciences appliquées à Alexandrie*, Saint-Étienne 1998 (Centre Jean-Palerne, «Mémoires» XVI).
Argoud G., *Idraulica*, in Mastrorosa/ Zumbo 2002, pp. 247-261.
Argoud G., *Autour des* Pneumatiques *et de la* Dioptre *d'Héron d'Alexandrie*, in Veneziani 2005, pp. 81-122.
Armogathe J.-R., *Sémanthèse de* machine/machina *dans le corpus cartésien*, in Veneziani 2005, pp. 333-344.
Arnim M., *Index verborum a Philone Byzantio in Mechanicae syntaxis libris quarto quintoque adhibitorum*, Hildesheim 1966 (rist. ed. 1927).
Artmann B., *Über Platons "schönste Dreiecke"*, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1994, pp. 15-16.
Assoun P.-L.-, ed., Offroy de La Mettrie *L'Homme-Machine*, Paris 2006 (1981).
Aubenque P., ed., *Concepts et catégories dans la pensée antique*, Paris 1980.

Aujac G., ed., Géminos *Introduction aux phénomènes*, Paris 1975.
Aujac G., *La Sphère, instrument au service de la découverte du monde* d'Autolycos de Pitanè à Jean de Sacrobosco, Caen 1993.
Baatz D., *Athenaios* 5 (*Mechanicus*), in *Der Neue Pauly* vol. 2, Stuttgart/Weimar 1997, col. 200.
Bacone, vd. De Mas 1994.
Barnes B., *T.S. Kuhn: la dimensione sociale della scienza*, Bologna 1985 (tit. or.: *T.S. Kuhn and social science*, London 1982).
Barnes J., *Aristotle's theory of demonstration*, in Barnes *et alii* 1975, pp. 65-87.
Barnes J., ed., *The Cambridge companion to Aristotle*, Cambridge 1999 (1ª ed. 1995).
Barnes J./ Brunschwig J./ Burnyeat M./ Schofield M., edd., *Science and speculation* Studies in Hellenistic theory and practice, Cambridge/ Paris 1982.
Barnes J./ Schofield M./ Sorabji R., edd., *Articles on Aristotle* 1. *Science*, London 1975.
Basso P., *Meccanismo e concatenazione. Sull'uso di «meccanico» e «geometrico» nel pensiero settecentesco*, in Bonicalzi 2006, pp. 13-35.
Belardi W., *Origine e sviluppi della nozione linguistica di "macchina"*, in Veneziani 2005, pp. 19-60.
Belloni L., a c. di, *Opere scelte di Evangelista Torricelli*, Torino 1975.
Beltrán Marí A., Galileo Galilei *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* Prefazione di A. Frova e M. Marenzana, Milano 2008 (Madrid 1994).
Beretta M./ Citti F., a c. di, *Lucrezio, la natura e la scienza*, Firenze 2008 («Biblioteca di Nuncius» 66).
Berrettoni P., *A metamathematical model in Platos's definition of* logos, «Histoire Épistémologie Langage» 30, 1 (2008) pp. 7-19.
Berryman S., *The mechanical hypothesis in ancient Greek natural philosophy*, Cambridge 2009.
Berti E., ed., *Aristotle on science* The Posterior Analytics, Padova 1981 («Studia Aristotelica» 9).
Berti E., *L'analisi geometrica della tradizione euclidea e l'analitica di Aristotele*, in Giannantoni/ Vegetti 1984, pp. 93-127.
Berti E., *La suprématie du mouvement local selon Aristote: ses conséquences et ses apories*, in Wiesner 1985, I pp. 123-150.
Berti E., *Le ragioni di Aristotele*, Roma-Bari 1989.

Berti E., a c. di, Aristotele *Protreptico* Esortazione alla filosofia, Torino 2000.

Besomi O./ Helbing M., edd., Galileo Galilei *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, vol. I Testo, vol. II Commento, Padova 1998.

Besson J., vd. Dolza *et alii* 2001.

Bianca C., *Commandino (Federico)*, in *DBI*, vol. 27, Roma 1982, pp. 602-606.

Bianchi L., *La filosofia nelle università Secoli XIII - XIV*, Firenze 1997 («Biblioteca di cultura» 216).

Bianchi L., *L'acculturazione filosofica dell'Occidente / Le università e il "decollo scientifico" dell'Occidente*, in Bianchi 1997, pp. 1-23 / pp. 25-62.

Bloch O., *Macchine e vita nella* Risposta... *del medico Gaultier de Niort*, in Bonicalzi 2006, pp. 36-42.

Bloedhorn H., *Mechane*, in *Brill's New Pauly* vol. 8, Leiden/ Boston 2006, col. 539.

Blume H.-D., *Mechane*, in *Der Neue Pauly* vol. 7, Stuttgart/ Weimar 1999, col. 1083 s.

Blumenberg H., *Il riso della donna Tracia Una preistoria della teoria*, Bologna 1988 (tit. or.: *Das Lachen der Thrakerin Eine Urgeschichte der Theorie*, Frankfurt am Main 1987).

Bolzoni L., *Macchine per la memoria e per l'invenzione fra Quattrocento e Cinquecento*, in Veneziani 2005, pp. 273-296.

Bonicalzi F., a c. di, *Macchine e vita nel XVII e XVIII secolo* Introduzione di G. Belgioioso, Firenze 2006.

Bonicalzi F., *Il movimento della vita tra Galileo e Descartes*, in Bonicalzi 2006, pp. 43-58.

Bottecchia Dehò M.E., *Galileo lettore di* Mechanica, Soveria Mannelli 2006.

Bourgne R., *Mechane – mechanasthai chez Platon*, «Documents pour l'Histoire du Vocabulaire Scientifique» 8 (1986) pp. 9-31.

Brenner A., ed., Pierre Duhem *L'évolution de la mécanique* suivi de «Les théories de la chaleur» «Analyse de l'ouvrage de Ernst Mach: La Mécanique» Avant-propos de P. Germain, Paris 1992.

Brizio A.M., a c. di, *Scritti scelti di Leonardo da Vinci*, Torino 1980 (rist. 2ª ed. 1966; 1ª 1952).

Brunet P., *Le scienze nell'Antichità e nel Medioevo*, Bari 1976.

Brunetti F., a c. di, *Opere di Galileo Galilei*, 2 voll., Torino 1980² (1ª ed. 1964).

Buck A., Hieronymus Cardanus *Opera Omnia*, Stuttgart-Bad Cannstatt 1966 (rist. ed. Lyon 1663).

Buonamici F., *Francisci Bonamici florentini e primo loco philosophiam ordinariam in almo Gymnasio pisano profitentis, De Motu Libri X. Quibus generalia naturalis philosophiae principia summo studio collecta continentur. Necnon universae quaestiones ad libros De Physico auditu, de Coelo, de Ortu, & Interitu pertinentes explicantur. Multa item Aristotelis loca explanantur, & Graecorum, Auerrois, aliorumque doctorum sententiae ad Theses Peripateticas diriguntur* [...], Florentiae 1591.

Burnyeat M.F., *Plato on why mathematics is good for the soul*, in Smiley 2000, pp. 1-81.

Busa SJ R., Machina, Machinativus, Mechanicus, Machinatio, Machinor *nell'*Index Thomisticus, in Veneziani 2005, pp. 171-239.

Calderini A., *Appunti di terminologia secondo i documenti dei papiri*, I.- Ὄργανον e μηχανή II.- Ὕδρευμα, «Aegyptus» 1, 3-4 (1920) pp. 309-317.

Cambiano G., *Il metodo ipotetico e le origini della sistemazione euclidea della geometria*, «Rivista di Filosofia» 58 (1967) pp. 115-149.

Cambiano G., *Archimede e la crescita della geometria*, in Giannantoni/ Vegetti 1984, pp. 129-149.

Cambiano G., *Platone e le tecniche*, Roma-Bari 1991 (1ª ed. Torino 1971).

Cambiano G., *Figura e numero*, in Vegetti 1992, pp. 83-108.

Cambiano G., *Scoperta e dimostrazione in Archimede*, in Dollo 1992, pp. 21-41.

Cambiano G., *La nascita dei trattati e dei manuali*, in G. Cambiano/ L. Canfora/ D. Lanza, a c. di, *Lo spazio letterario della Grecia antica* I 1, Roma 1992, pp. 525-553.

Cambiano G., *Alle origini della meccanica: Archimede e Archita*, in Aa. Vv., *Eredità della Magna Grecia* (Atti del trentacinquesimo convegno di studi sulla Magna Grecia, Taranto 1995), Taranto 1996, vol. I, pp. 459-495.

Cambiano G., *Archimede meccanico e la meccanica di Archita*, «Elenchos» 19, 2 (1998) pp. 289-324.

Cambiano G., *Figure, macchine, sogni Saggi sulla scienza antica*, Roma 2006.

Cambiano G./ Dario P., *Da Erone. Gli automi*, in Dionigi 2007, pp. 245-265.

Cambiano G./ Repici L., *Aristotele e la conoscenza*, Milano 1993.

Camerota M./ Helbing M.O., *All'alba della scienza galileiana Michel Varro e il suo* De motu tractatus. *Un importante capito-*

lo nella storia della meccanica di fine Cinquecento, Cagliari 2000.
Campana A., *Leopardi e le metafore scientifiche*, Bologna 2008.
Canfora L., Μηχανή, in Veneziani 2005, pp. 61-68.
Canfora L./ Jacob Chr., a c. di, Ateneo *I Deipnosofisti*, Roma 2001.
Canone E., ed., Giordano Bruno *Spaccio de la bestia trionfante*, Milano 2001².
Canone E., *Il concetto di macchina in Giordano Bruno*, in Veneziani 2005, pp. 297-319.
Capecchi D./ Drago A., *Lagrange e la storia della meccanica*, Bari 2005.
Capelle W., *Straton von Lampsakos*, in *RE* IV A 1, Stuttgart 1931, coll. 278-315.
Cappelletti V., *Benedetti (Giovanni Battista)*, in *DBI*, vol. 8, Roma 1966, pp. 259-265.
Cardano G., vd. Buck 1966.
Carena C., Plutarco *Vite parallele*, Milano 1974 (1958).
Carteron H., *Does Aristotle have a mechanics?*, in Barnes *et alii* 1975, pp. 161-174.
Carteron H., *La notion de force dans le système d'Aristote*, New York/ London 1979 (rist. ed. Paris 1923).
Carugo A., *Il paradosso della ruota di Aristotele discusso da Baldi, Mersenne e Galileo*, in Nenci 2005, pp. 317-338.
Casini P., *L'universo-macchina* Origini della filosofia newtoniana, Bari 1969.
Casini P., a c. di, *Enciclopedia o Dizionario ragionato delle scienze, delle arti e dei mestieri ordinato da Diderot e D'Alembert*, Roma-Bari 2003.
Cerri G., Omero *Iliade*, con un saggio di W. Schadewaldt, introduzione e traduzione di G. Cerri, commento di A. Gostoli, Milano 1999 (1996).
Chantraine P., *Dictionnaire étymologique de la langue grecque*, Paris 1999 (nuova ed.; 1ª ed. 1968).
Childe V. G., *Moto rotatorio*, in Singer *et alii* 1992, vol. I 1, pp. 188-216.
Cimino G./ Maccagni C., *La storia della medicina e della scienza tra archivio e laboratorio* Saggi in onore di Luigi Belloni, Firenze 1994.
Clagett M., *Archimedes in the Middle Ages*, voll. I-V, Madison 1964-Philadelphia 1984.
Clagett M., *La scienza della meccanica nel Medioevo*, Milano 1981² (1ª ed. 1972; tit. or.: *The science of mechanics in the Middle Ages*, Madison 1959).

Coarelli F., *Artisti e artigiani in Grecia* Guida storica e critica, Roma-Bari 1980.
Cohen M.R./ Drabkin I.E., *A source book in Greek science*, Cambridge (Mass.) 1958.
Corcilius K., *Streben und Bewegen Aristoteles' Theorie der animalischen Ortsbewegung*, Berlin/ New York 2008 («Quellen und Studien zur Philosophie» 79).
Coulton J.J., *Lifting in early Greek architecture*, «Journ. of Hell. St.» 94 (1974) pp. 1-19.
Craven Nussbaum M., *Aristotle's* De motu animalium, Princeton 1985 (1978).
Crombie A.C., *La scienza sperimentale e l'artista razionale agli albori dell'Europa moderna*, in Cimino/ Maccagni 1994, pp. 9-37.
Cuomo S., *Ancient mathematics*, London/ New York 2001.
Cuomo S., *Technology and culture in Greek and Roman antiquity*, Cambridge 2007.
De Bellis E., a c. di, *Aristotle and the Aristotelian tradition*, Soveria Mannelli 2008.
De Caprio C., *L'antitesi naturale / artificiale e la* Proposta di premi fatta dall'Accademia dei Sillografi, in V. Placella, a c. di, *Leopardi e lo spettacolo della natura* (Atti del convegno internazionale, Napoli 1998), Napoli 2000, pp. 331-343.
De Gandt F., *Force et science des machines*, in Barnes 1982, pp. 96-127.
De Gandt F., *Les Mécaniques attribuées à Aristote et le renouveau de la science des machines au XVI^e siècle*, «Les Études philosophiques» 3 (1986) pp. 391-405.
Delattre J., *Théon de Smyrne: modèles mécaniques en astronomie*, in Argoud/ Guillaumin 1998, pp. 371-395.
Del Corno D., a c. di, Plutarco *Il volto della luna*, Milano 1991.
De Mas E., a c. di, Francesco Bacone *Uomo e natura Scritti filosofici*, Introduzione e Nota di P. Rossi, Roma-Bari 1994.
Derenzini G., *Le meccaniche di Aristotele*, in C. Maccagni, a c. di, *La scienza a Venezia tra Quattrocento e Cinquecento Opere manoscritte e a stampa*, Venezia 1985, pp. 43-45.
Detienne M./ Vernant J.-P., *Le astuzie dell'intelligenza nell'antica Grecia*, Roma-Bari 1999 (tit. or.: *Les ruses de l'intelligence – La mètis des Grecs*, Paris 1974).
Di Benedetto V., *Il medico e la malattia La scienza di Ippocrate*, Torino 1986.
Diels H., *Antike Technik* Sieben Vorträge, Osnabrück 1965 (rist. edd. Stuttgart 1920 e 1924).
Diels H., *Über das physikalische System des Straton*, in W. Bur-

kert, ed., *Kleine Schriften zur Geschichte der antiken Philosophie*, Darmstadt 1969, pp. 239-265.

Diels H./ Kranz W., edd., *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 3 voll., Zürich 1996-98 (rist. ed. 1951-52⁶).

Dijksterhuis E.J., *Il meccanicismo e l'immagine del mondo* Dai Presocratici a Newton, Milano 1980² (1ª ed. 1971; tit. or.: *De Mechanisering van het Wereldbeeld*, 1950; trad. dall'ed. ingl. *The mechanization of the world picture*, Oxford 1961).

Dijksterhuis E.J., *Archimede Con un saggio bibliografico di Wilbur R. Knorr*, Firenze 1989 (ed. or. Amsterdam 1938; Princeton 1987).

Di Marco M., *La tragedia greca*. Forma, gioco scenico, tecniche drammatiche, Roma 2009 ² (1ª ed. 2000).

Dionigi I., a c. di, *I classici e la scienza. Gli antichi, i moderni, noi*, Milano 2007.

Di Pasquale G., *Tecnologia e meccanica*. Trasmissione dei saperi tecnici dall'età ellenistica al mondo romano, Firenze 2004.

Di Pasquale G., *Il* Corpus mensorum machinariorum *(*CIL *VI, 9626) e la costruzione delle macchine tra mondo ellenistico e Roma*, in Veneziani 2005, pp. 123-140.

Di Pasquale G., *Il concetto di* machina mundi *in Lucrezio*, in Beretta/ Citti 2008, pp. 35-50.

Dolza L./ Verin H./ Sonnino M./ Rossi P., a c. di, *Il Theatrum instrumentorum et machinarum* di Jacques Besson, Roma 2001 (ripr. ed. Lugduni 1578).

Döring K./ Wöhrle G., edd., *Antike Naturwissenschaft und ihre Rezeption*, I-II, Bamberg 1992; III, Bamberg 1993.

Döring K./ Herzhoff B./ Wöhrle G., edd., *Antike Naturwissenschaft und ihre Rezeption* 4, Bamberg 1994; 5, Trier 1995; 6, Trier 1996; 7, Trier 1997; 8, Trier 1998.

Dollo C., a c. di, *Archimede Mito Tradizione Scienza*, Firenze 1992 (Convegno Catania 1989).

Drabkin I.E., *Notes on the laws of motion in Aristotle*, «Am. Journ. of Philol.» 59 (1938) pp. 60-84.

Drabkin I.E., *Aristotle's wheel: notes on the history of a paradox*, «Osiris» 9 (1950) pp. 162-198.

Drachmann A.G., *Ktesibios, Philon and Heron* A study of ancient pneumatics, Copenhagen 1948.

Drachmann A.G., *The mechanical technology of Greek and Roman antiquity* A study of literary sources, Copenhagen 1963.

Drake S., *Galileo Una biografia scientifica*, Bologna 1988 (tit. or.: *Galileo at work His scientific biography*, Chicago/ London 1978).

Drake S., *Galileo Galilei pionere della scienza* La fisica moderna di Galileo, Padova 1992 (tit or.: *Galileo: pioneer scientist*, Toronto 1990).
Drake S., *Galileo*, Bologna 1998 (tit. or.: *Galileo*, Oxford 1980).
Drake S./ Drabkin I.E., *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, Madison 1969.
Düring I., *Naturphilosophie bei Aristoteles und Theophrast*, Heidelberg 1969.
Duhem P., *L'évolution de la mécanique*, Paris 1903 (vd. Brenner 1992).
Duhem P., *Les origines de la statique*, Paris 1905-1906 (vd. Leneaux *et alii* 1991).
Duhem P., *La teoria fisica: il suo oggetto e la sua struttura*, Bologna 1978 (tit. or.: *La théorie physique: son object et sa structure*, Paris 1914).
Duhem P., *Salvare i fenomeni*. Saggio sulla nozione di teoria fisica da Platone a Galileo, Roma 1986 (tit. or.: *Sozein ta phainomena*. Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée, Paris 1908).
Duhem P., *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* I, Paris 1988 (Paris 1913).
Espinas A., *Les origines de la technologie*, Paris 1897.
Espinas A., *L'organisation ou la machine vivante en Grèce, au IVe siècle avant J.-C.*, «Rev. de Métaph. et de Morale» 11 (1903) pp. 703-715.
Farrington B., *Storia della scienza greca*, Milano 1964 (tit. or.: *Greek science Its meaning for us*, Harmondsworth 1953).
Favaro A., ed., *Le opere di Galileo Galilei* Edizione nazionale sotto gli auspicii di Sua Maestà il Re d'Italia, voll. I-XX, Firenze 1888-1909.
Favaro A., *Galileo Galilei e lo studio di Padova*, 2 voll., Padova 1966 (rist. ed. 1883; «Contributi alla storia dell'Università di Padova» 3-4).
Favaro A., *Galileo Galilei a Padova* Ricerche e scoperte, insegnamento, scolari, Padova 1968 (contiene opuscoli pubbl. dal 1881 al 1921).
Favaro A., *Delle Meccaniche lette in Padova l'anno 1594 da Galileo Galilei*, in Favaro 1968, pp. 185-209 («Memorie Ist. Ven. di Scienze, Lettere e Arti» 26, 1899).
Fazzo S., *Esordi e trattati in Aristotele*, in M. Carrara/ G. De Anna/ S. Magrin, a c. di, *Linguaggio, mente e mondo*. Saggi di filosofia del linguaggio, filosofia della mente e metafisica, Padova 2003, pp. 19-48.

Federspiel M., *Sur un emploi de* sèmeion *dans les mathématiques grecques*, in Argoud/ Guillaumin 1998, pp. 55-72.

Feldhaus F. M., *Die Technik der Antike und des Mittelalters* Mit Vorwort un Bibliographie von H. Callies, Hildesheim/ Zürich/ New York 1985 («Documenta Technica» I; rist. ed. Potsdam 1931).

Festa E./ Roux S., *Le* "παρὰ φύσιν" *et l'imitation de la nature dans quelques commentaires du prologue des* Questions mécaniques, in Montesinos/ Solís 2001, pp. 237-253.

Ferrari G.A., *Meccanica allargata*, in Giannantoni/ Vegetti 1984, pp. 225-296.

Ferrari G.A., *Macchina e artificio*, in Vegetti 1992, pp. 163-179.

Ferrini M.F., *Il greco nelle* Origini della lingua italiana *di Egidio Menaggio. Una pagina di storia degli studi di greco nel XVII secolo*, «Annali Fac. Lett. e Filos. Univ. di Macerata» 19 (1986), pp. 111-168.

Ferrini M.F., *Il greco e l'etimologia italiana nella linguistica del Seicento*, in P. Janni/ I. Mazzini (edd.), *Presenza del lessico greco e latino nelle lingue contemporanee*. Ciclo di lezioni tenute all'Università di Macerata nell'a.a. 1987/88, Macerata 1990, pp. 83-106.

Ferrini M.F., *L'azione del simile e del contrario nella riflessione greca. Concezioni, immagini, espressioni ricorrenti e riemergenti nel tempo*, «Atti Istit. Ven. Scienze, Lettere ed Arti» – Classe di scienze morali, lettere ed arti – 153 (1994-1995) pp. 531-596.

Ferrini M.F., Τὸ ὅμοιον/ τὸ ἐναντίον. *Un aspetto del rapporto tra* Corpus Hippocraticum *e filosofia*, in R. Wittern/ P. Pellegrin, edd., in *Hippokratische Medizin und antike Philosophie*. Verh. d. VIII. Internat. Hippokrates-Kolloquiums in Kloster Banz/Staffelstein (vom 23. bis 28. Sept. 1993), Hildesheim 1996, I pp. 15-36.

Ferrini M.F., *L'inizio, la fine e l'immagine del cerchio nel* Corpus Hippocraticum, «Rudiae» 11 (1999), pp. 13-27.

Ferrini M.F., Θαῦμα*. Guarigione e meraviglia nella cultura greca*, «Veleia» 20 (2003), pp. 361-372.

Fichant M., *Leibniz e le macchine della natura*, in Bonicalzi 2006, pp. 59-90.

Flashar H., ed., *Sophistik Sokrates Sokratik Mathematik Medizin*, Basel 1998 («Die Philosophie der Antike» 2/1).

Fleury Ph., *Les textes techniques de l'Antiquité Sources, études et perspectives*, «Euphrosyne» n.s. 18 (1990) pp. 359-394.

Fleury Ph., *La mécanique de Vitruve*, Caen 1993 (vd. anche rec. di J.F. Healy, «The Class. Rev.» n.s. 45, 1, 1995, pp. 141-143).

Fleury Ph., *Le* De architectura *et les traités de mécanique ancienne*, in Aa. Vv. 1994, pp. 187-212.
Fleury Ph., *Traités de mécanique et textes sur les machines*, in Aa. Vv., Genève 1996, pp. 45-75.
Fleury Ph., *Meccanica*, in Mastrorosa/ Zumbo 2002, pp. 263-273.
Fleury Ph., *Vitruve et la mécanique romaine*, in Schürmann 2005, pp. 184-203.
Fögen Th., *The transformation of Greek scientific knowledge by Roman technical writers: on the translating of technical texts in antiquity*, in Althoff/ Herzhoff/ Wöhrle 2005, pp. 91-114.
Forbes R.J., *Energia motrice / Ingegneria idraulica e impianti sanitari*, in Singer *et alii* 1993, vol. II 2, pp. 599-637 / pp. 674-706.
Forbes R.J., *Studies in ancient technology*, voll. I-III Leiden 1993[3]; IV 1987[2]; V-VII 1966[2]; VIII 1971[2]; IX 1972[2].
Frajese A., a c. di, *Opere di Archimede*, Torino 1988 (1974).
Franco Repellini F., *Cosmologie greche*, Torino 1980.
Franco Repellini F., *Ipparco e la tradizione astronomica*, in Giannantoni/ Vegetti 1984, pp. 187-223.
Franco Repellini F., *Tecnologie e macchine*, in A. Momigliano/ A. Schiavone, a c. di, *Storia di Roma* IV, Torino 1989, pp. 323-368.
Franco Repellini F., *Cielo e Terra*, in Vegetti 1992, pp. 126-162.
Franco Repellini F., *Matematica, astronomia e meccanica*, in G. Cambiano/ L. Canfora/ D. Lanza, edd., *Lo spazio letterario della Grecia antica* I 2, Roma 1993, pp. 305-343.
Franco Repellini F., *La 'Vita di Tolomeo' di Bernardino Baldi*, in Nenci 2005, pp. 221-232.
Frau B., *Tecnologia greca e romana*, Roma 1987.
Friedlein G., ed., *Procli diadochi In primum Euclidis Elementorum librum Commentarii*, Hildesheim/ Zürich/ New York 1992 (rist. ed. Leipzig 1873).
Fritz K. von, *Grundprobleme der Geschichte der antiken Wissenschaft*, Berlin/ New York 1971.
Frova A./ Marenzana M., *Parola di Galileo Attualità del grande scienziato in una scelta commentata dei suoi scritti*, Milano 1999 (1998).
Galileo, vd. Favaro.
Gallo I., a c. di, *Plutarco e le scienze*, Genova 1992.
Galluzzi P., *Momento Studi galileiani*, Roma 1979 («Lessico intellettuale europeo» XIX).
Galluzzi P., Machinae pictae. *Immagine e idea della macchina negli artisti-ingegneri del Rinascimento*, in Veneziani 2005, pp. 241-272.

Gamba E./ Montebelli V., *Le scienze a Urbino nel tardo Rinascimento*, Urbino 1988.
Gamba E., *Bernardino Baldi e l'ambiente tecnico-scientifico del Ducato di Urbino*, in Nenci 2005, pp. 339-351.
Gara A., Progresso tecnico e mentalità classicista, in A. Momigliano/ A. Schiavone, a c. di, *Storia di Roma* II 3, Torino 1992, pp. 361-380.
Gara A., *Tecnica e tecnologia nelle società antiche*, Roma 1994.
Gastaldi S., Eikos *e* thaumaston *nella "Poetica" di Aristotele*, in Lanza/ Longo 1989, pp. 85-100.
Gatto R., ed., Galileo Galilei *Le Mecaniche*, Firenze 2002.
Gatto R., *Bilance e leve nel trattato* In Mechanica Aristotelis Problemata Exercitationes *di Bernardino Baldi*, in Nenci 2005, pp. 269-301.
Gatzemeier M., *Die Naturphilosophie des Straton von Lampsakos* Zur Geschichte des Problems der Bewegung im Bereich des frühen Peripatos, Diss. Münster 1967, Meisenheim am Glan 1970.
Geymonat L., *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, vol. I L'antichità – Il medioevo (con contributi di G. Micheli, R. Tisato, M. Vegetti), Milano 1975 (1970).
Gentili B., *La scienza degli antichi e dei moderni*, «Quad. Urb. Cult. Class.» 58, 1 (1998) pp. 139-144.
Gentili B./ Bernardini P. Angeli/ Cingano E./ Giannini P., a c. di, Pindaro *Le Pitiche*, Milano 1998[2] (1995).
Georgiadou A., *The corruption of geometry and the problem of two mean proportionals*, in Gallo 1992, pp. 147-164.
Giannantoni G., *Su alcuni problemi circa i rapporti tra scienza e filosofia nell'età ellenistica*, in Giannantoni/ Vegetti 1984, pp. 39-71.
Giannantoni G./ Vegetti M., a c. di, *La scienza ellenistica* Atti delle tre giornate di studio (Pavia 1982), Napoli 1984.
Giardina G.R., *Erone di Alessandria Le radici filosofico-matematiche della tecnologia applicata* Definitiones, Catania 2003.
Giglioni G., *Dalla meraviglia dei sensi alla meraviglia dell'intelletto* Note sul concetto di automa nel XVII secolo, in G. Galli, a c. di., *Interpretazione e meraviglia*, XIV Colloquio sulla Interpretazione (Macerata 1993), Pisa 1994, pp. 23-52.
Gille B., *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento*, Milano 1972 (tit. or.: *Les ingénieurs de la Renaissance*, Paris 1964).
Gille B., *Les mécaniciens grecs La naissance de la technologie*, Paris 1980.
Gille B., *Macchine* (con una *Nota sulle gru antiche* di A.G. Drachmann), in Singer *et alii* 1993, vol. II 2, pp. 638-673.

Giorello G./ Moriggi S., *"Fuga dalla meraviglia". A proposito di scienza e poesia*, in Dionigi 2007, pp. 33-44.

Giorello G./ Strata P., a c. di, *L'automa spirituale. Menti cervelli e computer*, Roma-Bari 1991.

Giusti E., a c. di, Galileo Galilei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla mecanica ed i movimenti locali*, Torino 1990.

Gliozzi G., *Cardano (Gerolamo)*, in *DBI*, vol. 19, Roma 1976, pp. 758-769.

Gliozzi M., *Storia della fisica L'Antichità classica*, in M. Gliozzi/ M. Giua, a c. di, *Storia delle scienze* vol. II, Torino 1965, pp. 3-22.

Gohlke P., *Die Entstehungsgeschichte der naturwissenschaftlichen Schriften des Aristoteles*, «Hermes» 59 (1924) pp. 274-306.

Gottschalk H. B., ed., *Strato of Lampsacus: some texts*, «Proceedings of the Leeds philosophical and literary society, lit. and hist. section» 11, 6 (1965) pp. 95-182 (vd. anche rec. di H. Flashar, «Gnomon» 39, 1967, pp. 681-684).

Gräser A., ed., *Mathematik und Metaphysik bei Aristoteles*, Bern 1987.

Grant E., *Aristotle's restriction on his law of motion: its fate in the Middle Ages*, in I.B. Cohen/ R. Taton, edd., *L'aventure de la science*, Paris 1964, pp. 173-197 (Mélanges Alexandre Koyré, I).

Graziano M., *Archimede il matematico, il fisico, l'ingegnere il genio della Sicilia greca*, Palermo 2006.

Greco C., a c. di, Giambattista Vico *L'antichissima sapienza degli Italici*, vd. Murari 2008.

Grillo E., *Biancani (Giuseppe)*, in *DBI*, vol. 10, Roma 1968, pp. 33-35.

Gros P., a c. di, Vitruvio *De architectura* Traduzione e commento di Antonio Corso e Elisa Romano, 2 voll., Torino 1997.

Grosholz E.R., *Problematic objects between mathematics and mechanics*, «Philos. of Science Ass.» 2 (1990) pp. 385-395.

Guillaumin J.-Y., ed., *Mathematiques dans l'antiquité*, Saint-Étienne 1992 (Centre Jean-Palerne «Mémoires» XI).

Guillaumin J.-Y., *Pneumatica*, in Mastrorosa/ Zumbo 2002, pp. 413-423.

Habermas J., *Technik und Wissenschaft als 'Ideologie'*, Frankfurt am Main 1968.

Hall A. R., *Tecnologia militare*, in Singer *et alii* 1993, vol. II 2, pp. 707-742; vol. III, pp. 354-384.

Hamesse J., *L'apport des textes philosophiques des 12^e^ et 13^e^ siècles à l'étude de* machina *et de* machinatio, in Veneziani 2005, pp. 159-170.

Hankinson R.J., *Philosophy of science*, in Barnes 1999, pp. 109-139.
Hankinson R.J., *Science*, in Barnes 1999, pp. 140-167.
Hannah R., *Time in antiquity Sciences in antiquity*, London/ New York 2009.
Harari O., *Knowledge and demonstration Aristotle's Posterior Analytics*, Dordrecht 2004 («The new synthese historical library» 56).
Hart I.B., *The mechanical investigations of Leonardo da Vinci*, Berkeley/ Los Angeles 1963² (1ª ed. 1925).
Heath T.L., *A history of Greek mathematics*, Oxford 1921.
Heath T.L., *Mathematics in Aristotle*, Bristol 1998 (rist. ed. Oxford 1949).
Heiberg J.L., *Mathematisches zu Aristoteles*, «Abhandlungen z. Geschichte d. mathem. Wissensch.» 18 (1904) pp. 3-49.
Heiberg I.L., *Geschichte der Mathematik und Naturwissenschaften im Altertum*, München 1969 (rist. ed. 1925).
Heinemann G., *Die Entwicklung des Begriffs* physis *bis Aristoteles*, in Schürmann 2005, pp. 16-60.
Helbing M.O., *Galileo e le* Questioni meccaniche *attribuite ad Aristotele Alcune indicazioni*, in Montesinos/ Solís 2001, pp. 217-236.
Helbing M.O., *Mechanics and natural philosophy in late 16th-Century Pisa: Cesalpino and Buonamici, humanist masters of the Faculty of Arts*, in Laird/ Roux 2008, pp. 185-193.
Hinske N., *Zwischen Begriff und Metapher zur Verwendung des Stichworts 'Maschine' bei Kant*, in Veneziani 2005, pp. 477-488.
Hirsch U., *Das Alphabet als Modell. 'Buchstabieren der Welt' bei Demokrit und Platon*, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1996, pp. 41-49.
Hörandner W., *Erotapokríseis*, in Ueding 1994, coll. 1417-1419.
Holmyard E.J., *Gli apparecchi dell'alchimia*, in Singer *et alii* 1993, vol. II 2, pp. 743-764.
Hoppe B., *Mechanische und geometrische Deutungsmuster in der Biologie vermittelt durch Aristoteles-Kommentare*, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1997, pp. 111-124.
Høyrup J., *Hero, Ps.-Hero, and Near Eastern practical geometry. An investigation of Metrica, Geometrica, and other treatises*, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1997, pp. 67-93.
Huffman C.A., *Archytas of Tarentum pythagorean, philosopher and mathematician king*, Cambridge 2007 (1ª 2005).
Hultsch F., ed., *Pappi Alexandrini Collectionis quae supersunt*, I-III, Hildesheim 2004² (= 1ª ed. Berlin 1876-1878).

Ieraci Bio A. M., *L' ἐρωταπόκρισις nella letteratura medica*, in C. Moreschini, ed., *Esegesi, parafrasi e compilazione in età tardo antica*, Napoli 1995, pp. 187-207.
Irmscher J./ Müller R., edd., *Aristoteles als Wissenschaftstheoretiker. Eine Aufsatzsammlung*, Berlin 1983.
Irti N., *L'Etat:* machina machinarum, in Veneziani 2005, pp. 513-519.
Isnardi Parente M., *Techne Momenti del pensiero greco da Platone ad Epicuro*, Firenze 1966.
Isnardi Parente M., *Plutarco e la matematica platonica*, in Gallo 1992, pp. 121-145.
Jaeger M., *Archimedes and the Roman imagination*, Ann Arbor 2008.
Jammer M., *Storia del concetto di forza Studio sulle fondazioni della dinamica*, Milano 1971 (tit. or.: *Concepts of force A study in the foundations of dynamics*, Harvard 1957).
Jammer M., *Storia del concetto di massa nella fisica classica e moderna*, Milano 1974 (tit. or.: *Concepts of mass in classical and modern physics*, Harvard 1961).
Janni P., *Il mare degli Antichi*, Bari 1996.
Janni P., *Nautica*, in Mastrorosa/ Zumbo 2002, pp. 395-412.
Jori A., a c. di, Aristotele *Il cielo*, Milano 2002.
Kato M., *Techne und Philosophie bei Platon*, Frankfurt a. Main/ Bern/ New York 1986.
Kayser R., *Die abderitische Atomistik: Leukipp und Demokrit*, in Schürmann 2005, pp. 61-76.
Keyser P.T./ Irby-Massie G.L., *The encyclopedia of ancient natural scientists The Greek tradition and its many heirs*, London/ New York 2008.
Kienast H.J., *Die Wasserleitung des Eupalinos*, in Schürmann 2005, pp. 145-163.
Knorr W.R., *Ancient sources of the Medieval tradition of Mechanics. Greek, Arabic and Latin studies of the balance*, Firenze 1982 (Suppl. «Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza» 2).
Knorr W.R., *The ancient tradition of geometric problems*, New York 1993 (Boston 1986).
Koyré A., *Du monde de l'à peu près à l'univers de la précision*, Paris 1948 (vd. anche trad. it.: *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Torino 1992; in appendice il saggio di P.-M. Schuhl, *Perché l'antichità classica non ha conosciuto il macchinismo?*).
Krafft F., *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik*, Wiesbaden 1970 («Boethius» X).

Krafft F., *Geschichte der Naturwissenschaft I Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen*, Freiburg 1971.

Krafft F., *La fisica e il suo divenire Sull'esperienza storica della conoscenza fisica*, Roma 1990 (tit. or.: *Das Selbstverständnis der Physik im Wandel der Zeit Vorlesungen zum historischen Erfahrungsraum physikalischen Erkennens*, Weinheim 1982).

Krafft F., *Mechanik*, in *Der Neue Pauly* vol. 7, Stuttgart/ Weimar 1999, coll. 1084-1088.

Krafft F./ Mainzer K., *Mechanik*, in J. Ritter/ K. Gründer, edd., *Historisches Wörterbuch der Philosophie* 5, Basel 1989, coll. 950-959.

Krömer D., *Die Griechen und ihre Schüler*: μηχανή *und* machina, in Veneziani 2005, pp. 69-80.

Kuhn Th.S., *A function for thought experiments*, in F. Braudel, ed., *L'aventure de l'esprit*, Paris 1964, pp. 307-334 (Mélanges Alexandre Koyré, II).

Kuhn Th.S., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino 1969 (tit. or.: *The structure of scientific revolutions*, Chicago 1962).

Kuhn Th.S., *Le rivoluzioni scientifiche*, Bologna 2008 (tit. or.: *What are scientific revolutions?* in L. Krüger/ L.J. Daston/ M. Heidelberger, a c. di, *The probabilistic revolution*, Cambridge 1987).

Kullmann W., *Wissenschaft und Methode. Interpretationen zur aristotelischen Theorie der Naturwissenschaft*, Berlin/ New York, 1974.

Kullmann W., *Aristoteles und der moderne Begriff des Naturgesetzes*, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1995, pp. 9-28.

Kullmann W., *Aristoteles und die moderne Wissenschaft*, Stuttgart 1998.

Kullmann W./ Althoff J./ Asper M., edd., *Gattungen wissenschaftlicher Literatur in der Antike*, Tübingen 1998.

Laird W.R., *The scope of Renaissance mechanics*, «Osiris» 2 (1986) pp. 43-68.

Laird W.R., ed., *The unfinished Mechanics of Giuseppe Moletti An edition and English translation of his* Dialogue on Mechanics*, 1576*, Toronto/ Buffalo/ London 2000.

Laird W.R., *Nature, mechanics, and voluntary movement in Giuseppe Moletti's lectures on the Pseudo-Aristotelian* Mechanica, in Laird/ Roux 2008, pp. 173-183.

Laird W.R./ Roux S., edd., *Mechanics and natural philosophy before the scientific revolution*, Dordrecht 2008 («Boston Studies in the Philosophy of Science» 254).

Lakoff G./ Núñez R.E., *Da dove viene la matematica* Come la mente embodied dà origine alla matematica, Torino 2005 (tit. or.: *Where mathematics comes from*. How the embodied mind brings mathematics into being, New York 2000).

Laks A./ Rashed M., edd., *Aristote et le mouvement des animaux Dix études sur le* De motu animalium, Villeneuve d'Ascq 2004.

Lamarra A., *Macchine e meccanicismo nella controversia tra Leibniz e Clarke*, in Veneziani 2005, pp. 399-419.

La Mettrie J.O. de, vd. Preti 1973; Vérain 2000; Assoun 2006.

Landels J.G., *Die Technik in der antiken Welt*, München 1980 (rist. ed. 1979; tit. or.: *Engineering in the ancient world*, London 1978).

Lang H.S., *Aristotle's science of nature*, in Schürmann 2005, pp. 77-92.

Lang Ph., ed., *Re-inventions Essays on Hellenistic & early Roman science*, Kelowna 2004 («Apeiron» 37, 4).

Lanza D., *Aristotele, la miglior tragedia, gli automata*, in Lanza/ Longo 1989, pp. 101-111.

Lanza D., a c. di, Aristotele *Poetica*, Milano 2004[17] (1ª ed. 1987).

Lanza D./ Longo O., a c. di, *Il meraviglioso e il verosimile tra Antichità e Medioevo*, Firenze 1989.

Lanza D./ Vegetti M., edd., *Opere biologiche di Aristotele*, Torino 1996 (1ª ed. 1971).

Laurent J., *Fil d'or et fils de fer Sur l'homme «marionnette» dans le livre I des* Lois *de Platon (644 c-645 a)*, «Archives de Philosophie» 69 (2006) pp. 461-473.

Lee H.P., *Geometrical method and Aristotle's account of first principles*, «Class. Quart.» 29, 2 (1935) pp. 113-124.

Leisegang H., *Physik*, in *RE* XX 1. Stuttgart 1941, coll. 1034-1063.

Leneaux G.F./ Vagliente V.N./ Wagener G.H./ Jaki S.L., edd., Pierre Duhem *The origins of statics The sources of physical theory*, Dordrecht/ Boston/ London 1991 («Boston Studies in the Philosophy of Science» 123).

Leszl W., *Linguaggio e discorso*, in Vegetti 1992, pp. 13-44.

Levere T.H./ Shea W.R., edd., *Nature, experiment, and the sciences Essays on Galileo and the history of science in honour of Stillman Drake*, Dordrecht/ Boston/ London 1990.

Lloyd G. E. R., *Early Greek science. Thales to Aristotle*, London 1982 (1ª ed. 1970).

Lloyd G. E. R., *The revolutions of wisdom. Studies in the claims and practice of ancient Greek science*, Berkeley/ Los Angeles/ London 1989 (1ª ed. 1987).

Lloyd G. E. R., *Polarity and analogy. Two types of argumentation in early Greek thought*, Bristol/ Indianapolis 1992 (1[a] ed. Cambridge 1966).

Lloyd G.E.R., *Materia e moto*, in Vegetti 1992, pp. 109-125.

Lloyd G. E. R., *Metodi e problemi della scienza greca*, Roma-Bari 1993 (tit. or.: *Methods and problems in Greek science*, Cambridge 1991).

Lloyd G. E. R., *Adversaries and authorities. Investigations into ancient Greek and Chinese science*, Cambridge 1996.

Lloyd G. E. R., *Aristotelian explorations*, Cambridge 1996.

Lloyd G. E. R., *La professionalizzazione delle scienze*, in S. Settis, a c. di, *I Greci Storia Cultura Arte Società* 2 III, Torino 1998, pp. 681-704.

Lloyd G.E.R., *New issues in the history of ancient science*, in Lang 2004, pp. 9-27.

Locke, vd. Pellizzi 1999.

Löbl R., ***TEXNH*** - *Techne. Untersuchung zur Bedeutung dieses Wortes in der Zeit von Homer bis Aristoteles*, vol. I Von Homer bis zu den Sophisten/ vol. II Von den Sophisten bis zu Aristoteles, Würzburg 1997/ 2003.

Longo O., ed., Aristotele *De caelo*, Firenze 1961.

Longo O., *Geometria e fisica nei* Mechanikà *pseudo-aristotelici*, in *Saperi antichi Teoria ed esperienza nella scienza dei Greci*, Venezia 2003, pp. 65-81 («Memorie» Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, vol. XLI).

Mach E., *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Torino 1977 (tit. or.: *Die Mechanik in ihrer Entwickelung historisch-kritisch dargestellt*, Leipzig 1883).

Maccagni C., *Le speculazioni giovanili "de motu" di Giovanni Battista Benedetti con estratti dalla lettera dedicatoria della "Resolutio omnium Euclidis problematum ..." e con il testo delle due edizioni della "Demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotelem et omnes philosophos"*, Pisa 1967.

Maccagni C., a c. di, *Atti del primo convegno internazionale di ricognizione delle fonti per la storia della scienza italiana: i secoli XIV-XVI* (Pisa – Domus Galilaeana, sett. 1966), Firenze 1967.

Manaster-Ramer A., ed., *Mathematics of language*, Amsterdam 1987.

Manetti G./ Prato A., a c. di, *Animali, angeli e macchine* 1 Come comunicano e come pensano, Pisa 2007.

Manetti G., *Animali, angeli, macchine nella filosofia del linguaggio dall'antichità a Cartesio*, in Manetti/ Prato 2007, pp. 9-55.

Mansion A., *Introduction à la physique aristotélicienne*, Louvain-La-Neuve 1987[2] (1ª ed. 1913).

Marcolongo R., *Memorie sulla geometria e la meccanica di Leonardo da Vinci*, Napoli 1937.

Marcovich M., ed., *Diogenis Laertii Vitae philosophorum*, vol. I, Stutgardiae et Lipsiae 1999.

Masotti A., Niccolò Tartaglia *Quesiti et inventioni diverse* Riproduzione in facsimile dell'edizione del 1554, Brescia 1959.

Mastromarco G./ Totaro P., *Storia del teatro greco*, Milano 2008.

Mastrorosa I. / Zumbo A., a c. di, *Letteratura scientifica e tecnica di Grecia e Roma*, Roma 2002.

Medaglia S.M./ Rossetti L./ Sconocchia S., a c. di, *Dizionario delle Scienze e delle Tecniche di Grecia e Roma*, dir. P. Radici Colace, Pisa – Roma 2009.

Medas S., *De rebus nauticis. L'arte della navigazione nel mondo antico*, Roma 2004.

Meißner B., *Die mechanische Wissenschaft und ihre Anwendungen in der Antike*, in Schürmann 2005, pp. 129-144.

Mendell H., *Two geometrical examples from Aristotle's* Metaphysics, «Class. Quart.» n.s. 34, 2 (1984) pp. 359-372.

Meyenn K. von, ed., *Lust an der Erkenntnis Triumph und Krise der Mechanik Ein Lesebuch zur Geschichte der Physik*, München 1990.

Meyer M.F., *Der Mensch als Maß und Muster. Anthropozentrische Momente der aristotelischen Biologie*, in Althoff/ Herzhoff/ Wöhrle 2006, pp. 9-68.

Micheli G., a c. di, *Storia d'Italia Scienza e tecnica nella cultura e nella società dal Rinascimento a oggi*, Torino 1980 (il volume contiene un saggio di M. Brusatin: *La macchina come soggetto d'arte*).

Micheli G., *Le* Questioni meccaniche *e Galileo*, in P. Casini, a c. di, *Alle origini della rivoluzione scientifica*, Roma 1991, pp. 69-89.

Micheli G., *Le origini del concetto di macchina*, Firenze 1995.

Micheli G., *Il concetto di automa nella cultura greca dalle origini al sec. IV a. C.*, «Riv. St. Filos.» 53, 3 (1998) pp. 421-462.

Micheli G., *Meccanica*, in *Storia della scienza*, Roma 2001, I *La scienza antica*, pp. 926-945.

Micheli G., *La traduzione degli* Automata *di Erone*, in Nenci 2005, pp. 247-268.

Michon E., *Libra*, in Ch. Daremberg/ E. Saglio/ E. Pottier, edd., *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines d'après les textes et les monuments*, Paris 1904, vol. III 2 (L-M), pp. 1222-1231.

Mignucci M., *La teoria aristotelica della scienza*, Firenze 1965.

Mignucci M., a c. di, Aristotele *Analitici secondi Organon IV* Introduzione di J. Barnes, Roma-Bari 2007.

Mondolfo R., *Alle origini della filosofia della cultura* Introduzione di R. Treves, Bologna 1956.

Montesinos J./ Solís C., edd., *Largo campo di filosofare* (Eurosymposium Galileo, Tenerife 2001), La Orotava 2001.

Motz L./ Weaver J.H., *La storia della fisica*, Bologna 1991 (tit. or.: *The story of physics*, New York/ London 1989).

Movia G., a c. di, Aristotele *L'anima*, traduzione, introduzione e commento, Napoli 1991[2] (1ª ed. 1979).

Mueller I., *Aristotle on geometrical objects*, «Archiv f. Geschichte d. Philosophie» 52, 2 (1970) pp. 156-171.

Mueller I., *Geometry and scepticism*, in Barnes *et alii* 1982, pp. 69-95.

Müller S., *Naturgemässe Ortsbewegung Aristoteles' Physik und ihre Rezeption bis Newton*, Tübingen 2006 («Philosophische Untersuchungen» 16).

Mugler Ch., *Dictionnaire historique de la terminologie géométrique des Grecs*, Paris 1958.

Mugler Ch., ed., Archimède I *De la sphère et du cylindre La mesure du cercle Sur les conoïdes et les sphéroïdes*; II *Des spirales De l'équilibre des figures planes*; III *Des corps flottants Stomachion La méthode Le livre des lemmes Le problème des boeufs*; IV Commentaires d'Eutocius et fragments, Paris 1970-1972.

Murari A./ Faschilli C./ Greco C./ Cacciari M., a c. di Giambattista Vico *Metafisica e metodo*, Milano 2008.

Narcy M., *Qu'est-ce qu'une figure? Une difficulté de la doctrine aristotélicienne de la qualité (Aristote* Catégories *8, 10 b 26-11 a 14)*, in Aubenque 1980, pp. 197-216.

Navarre O., *Machina*, in Ch. Daremberg/ E. Saglio/ E. Pottier, edd., *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines d'après les textes et les monuments*, vol. III 2 (L-M), Paris 1904, pp. 1461-1478.

Navarre O., *Vectis*, in Ch. Daremberg/ E. Saglio/ E. Pottier/ G. Lafaye, *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines d'après les textes et les monuments*, vol. V (T-Z), Paris, s. d. [1919], pp. 666-667.

Navarro Brotons V., *Mechanics in Spain at the end of the 16th Century and the Madrid Academy of mathematics*, in Laird/ Roux 2008, pp. 239-258.

Nenci E., a c. di, *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimentale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura*

(Atti del Convegno di studi, Milano 2003), Milano 2005.
Nenci E., a c. di, Bernardino Baldi *In Mechanica Aristotelis Problemata Exercitationes*, 2 voll., Milano 2010.
Netz R., *The shaping of deduction in Greek mathematics A study in cognitive history*, Cambridge 1999.
Netz R., *Plato's mathematical construction*, «Class. Quart.» 53, 2 (2003) pp. 500-509.
Netz R., ed., *The works of Archimedes* I The two books *On the Sphere and the Cylinder* Translation and commentary, with a critical edition of the diagrams and a translation of Eutocius' commentaries, Cambridge 2004.
Netz R., *Ludic proof Greek mathematics and the Alexandrian aesthetic*, Cambridge 2009.
Netz R./ Noel W., *Il codice perduto di Archimede* La storia di un libro ritrovato e dei suoi segreti matematici, Milano 2008 (tit. or.: *The Archimedes codex* Revealing the secrets of the world's greatest palimpsest, London 2007).
Neugebauer O., *Le scienze esatte nell'Antichità*, Milano 1974 (tit. or.: *The exact sciences in antiquity*, Providence, Rhode Island, 1957).
Nicolet C., *Les littératures techniques dans le monde romain*, in Aa. Vv. 1996, pp. 1-17.
Nix L./ Schmidt W., edd., *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia* II *Mechanica et catoptrica*, Stuttgart 1976 (Leipzig 1900).
Nobis H.M., *Die wissenschaftshistorische Bedeutung der peripatetischen 'Quaestiones mechanicae' als Anlass für die Frage nach ihrem Verfasser*, «Maia» n.s. 18, 3 (1966) pp. 265-276.
O'Brien D., *Heavy and light in Democritus and Aristotle: two conceptions of change and identity*, «Journ. of Hell. St.» 97 (1977) pp. 64-74.
Ong W.J., ed., Petrus Ramus *Scholae in liberales artes*, Hildesheim/ New York 1970 (rist. ed. Basel 1569).
Orlandi G./ Portoghesi P., a c. di, Leon Battista Alberti *L'architettura* (*De re aedificatoria*), Milano 1988 (1966).
Oser-Grote C., *Physikalische Theorien in der antiken Mechanik*, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1997, pp. 25-50.
Owen G.E.L., *Aristotelian mechanics*, in M. Nussbaum, ed., *Logic, science and dialectic* Collected papers in Greek philosophy G.E.L. Owen, London 1986, pp. 315-333.
Palaia R., *Macchine infinite e organismi:* machina-machine *negli scritti leibniziani*, in Veneziani 2005, pp. 385-398.
Pedretti C., *Leonardo Le macchine*, Firenze 2000.

Pellizzi C., a c. di, John Locke *Saggio sull'intelligenza umana*, 2 voll., Roma- Bari 1999[3] (1ª ed. 1988; introd. di C.A. Viano, trad. rivista da G. Farina).

Pepe L., a c. di, Aristotele *Meteorologia*. Introduzione, traduzione, note e apparati, Milano 2003.

Perina C., *Biringucci (Oreste, detto Vannocci)*, in *DBI*, vol. 10, Roma 1968, pp. 624-625.

Pertusi A., *L'umanesimo greco dalla fine del secolo XIV agli inizi del secolo XVI*, in G. Arnaldi/ M. Pastore Stocchi, a c. di, *Storia della cultura veneta* 3, I *Dal primo Quattrocento al Concilio di Trento*, Vicenza 1980, pp. 177-264.

Pimpinella P., Machina *come immagine del mondo in Chr. Wolff*, in Veneziani 2005, pp. 421-446.

Piovan F., *Fausto* (Vittore), in *DBI*, vol. 45, Roma 1995, pp. 398-401.

Pomey P., ed., *La navigation dans l'Antiquité*, Aix-en-Provence 1997.

Poni C., a c. di, Vittorio Zonca *Novo teatro di machine et edificii*, Milano 1985 (ripr. ed. Padova 1607).

Poselger F.T., *Über Aristoteles Mechanische Probleme*, «Abhandlungen d. königlichen Akademie d. Wissenschaften in Berlin» (Mathematisch-Physikalische Klasse) 5, 1829 (1832), pp. 57-92.

Prato A., *Animali, uomini, macchine nel Settecento*, in Manetti/ Prato 2007, pp. 57-84.

Preti G., a c. di, Julien Offroy de Lamettrie *L'uomo macchina e altri scritti*, Milano 1973[2] (1ª ed. 1955; tit. or.: *L'homme machine*; *L'homme plante*; *Anti-Sénèque ou discours sur le bonheur*).

Pugliara M., *Il mirabile e l'artificio. Creature animate e semoventi nel mito e nella tecnica degli antichi*, Roma 2003.

Pujiula M., *Waage*, in *Der Neue Pauly* vol. 12/2, Stuttgart/ Weimar 2002, col. 355 s.

Raimondi E., ed., Torquato Tasso *Dialoghi* II, Firenze 1958.

Reale G., Aristotele *Metafisica* Introduzione, traduzione, note e apparati, Milano 1993.

Reale G., *Storia della filosofia antica*, 5 voll., Milano 1994 (rist. ed. 1992[9]; 1ª ed. 1975-1980).

Reale G., *Introduzione a Aristotele*, Roma-Bari 1997[10] (1ª ed. 1974).

Reale G., a c. di, Platone *Timeo* Introduzione, traduzione, note, apparati e appendice iconografica, Milano 2000.

Reale G., a c. di, *I Presocratici* Prima traduzione integrale con testi originali a fronte delle testimonianze e dei frammenti nella raccolta di Hermann Diels e Walther Kranz, Milano 2006.

Reale G., a c. di, Platone *Tutti gli scritti*, Milano 2008[5] (1[a] ed. 2000).
Reale G./ Bos A. P., *Il trattato Sul cosmo per Alessandro attribuito ad Aristotele*, Milano 1995.
Rechenauer G., *Zwischen Techne und Ethos. Antike Landtechnik in Hesiods* Erga *und Vergils* Georgica, in Döring/ Wöhrle 1992, pp. 184-223.
Regenbogen O., *Theophrastos*, in *RE* Suppl. VII, Stuttgart 1940, coll. 1354-1562.
Robinet A., *Machines à parler, machines à penser, machineries cybernétiques et machinations métaphysiques*, in Veneziani 2005, pp. 521-529.
Robinson D.M., *The weel of fortune*, «Classical Philology» 41, 4 (1946) pp. 207-216.
Romano E., vd. Gros 1997.
Rose P.L./ Drake S., *The Pseudo-Aristotelian* Questions of Mechanics *in Renaissance culture*, «Studies in the Renaissance» 18 (1971) pp. 65-104.
Ross W.D., *Aristotele*, Bari 1976[2] (tit. or.: *Aristotle*, London 1923).
Rossi P., *I filosofi e le macchine* (1400-1700), Milano 1976[2] (1962; 1971).
Rossi P., *I ragni e le formiche Un'apologia della storia della scienza*, Bologna 1986.
Rossi P., *La scienza e la filosofia dei moderni Aspetti della Rivoluzione scientifica*, Torino 1989.
Rossitto C., *Concetto e ruolo dell'opposizione nei* Mechanica *aristotelici*, in De Bellis 2008, pp. 343-368.
Rühlmann C.M., Aristoteles *Mechanische Probleme* (Quaestiones Mechanicae) von F.T. Poselger Mit einem Vorworte von M. Rühlmann, Hannover 1881.
Ruggiu L., a c. di, Aristotele *Fisica* Saggio introduttivo, traduzione, note e apparati, Milano 2007.
Russo E., *Leonico Tomeo* (Niccolò), in *DBI*, vol. 64, Roma 2005, pp. 617-621.
Russo F., *Histoire de la pensée scientifique*, Paris 1951.
Russo L., *La rivoluzione dimenticata Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna* Prefazione di M. Cini, Milano 1998[5] (1[a] ed. 1996).
Sabbadini R., a c. di, *Carteggio di Giovanni Aurispa*, Roma 1931.
Salmon N., *Metaphysics, mathematics, and meaning* Philosophical papers I, Oxford 2005.
Sambursky S., *Il mondo fisico dei greci.* Prefazione di L. Gey-

monat, Milano 1959 (tit. or.: *The physical world of the Greeks*, London 1956).

Sanguineti J.J., *Scienza aristotelica e scienza moderna*, Roma 1992.

Santini C., *Astronomia*, in Mastrorosa/ Zumbo 2002, pp. 139-167.

Sarnowsky J., *Concepts of impetus and the history of mechanics*, in Laird/ Roux 2008, pp. 121-145.

Sarton G., *A history of science* Hellenistic science and culture in the last three centuries B. C., New York 1965 (1959).

Sassi M.M., *The self, the soul, and the individual in the city of the* Laws, «Oxford Studies in Ancient Philosophy» 35 (2008) pp. 125-148.

Schiefsky M.J., *Theory and practice in Heron's* Mechanics, in Laird/ Roux 2008, pp. 15-49.

Schmidt W., ed., *Heronis Alexandrini Opera quae supersunt omnia* I *Pneumatica et automata*, Stuttgart 1976 (1949; 1ª ed. Leipzig 1899).

Schmitz M., *Die philosophische Grundlegung der Arithmetik in der Definition der Zahl*, in Althoff/ Herzhoff/ Wöhrle 1999, pp. 69-102.

Schmitz M., *Heimweh nach Euklid?* Zur Grundlegung von Euklids Geometrie in der neuplatonischen Philosophie des Proklos, in Althoff/ Herzhoff/ Wöhrle 2007, pp. 89-100.

Schmitz M., *Zur Rezeption von Pappos' Mechanik durch Isaac Newton und zu aus dieser resultierenden begründungstheoretischen Aporien der neueren Physik*, in Althoff/ Herzhoff/ Wöhrle 2007, pp. 109-119.

Schneider H., *Das griechische Technikverständnis* Von den Epen Homers bis zu den Anfängen der technologischen Fachliteratur, Darmstadt 1989 («Impulse der Forschung» 54).

Schneider H., *Einführung in die antike Technikgeschichte*, Darmstadt 1992.

Schneider H., *Geschichte der antiken Technik*, München 2007.

Schramm M., *The Mechanical Problems of the «Corpus Aristotelicum», the «Elementa Iordani super Demonstrationem Ponderum», and the Mechanics of the Sixteenth Century*, in Maccagni, a c. di, 1967, pp. 151-163.

Schürmann A., *Griechische Mechanik und antike Gesellschaft Studien zur staatlichen Förderung einer technischen Wissenschaft*, Stuttgart 1991 («Boethius» XXVII).

Schürmann A., *Antike Pneumatik – eine für das Leben nützliche Wissenschaft?*, in Döring/ Wöhrle 1992, pp. 86-113.

Schürmann A., *Kann man die Natur nachahmen, indem man ihr*

zuwider handelt? Zur Bedeutung des aristotelischen παρὰ φύσιν für die Definition der Technik, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1997, pp. 51-66.
Schürmann A., ed., *Physik / Mechanik*, Stuttgart 2005 («Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften» 3).
Schuhl P.-M., *Machinisme et philosophie*, Paris 1969[3] (1ª ed. 1938).
Sergio E., *La discussione della fisica cartesiana dei vortici nelle* Recherches curieuses de philosophie (1714), in Bonicalzi 2006, pp. 91-112.
Serrai A., Bernardino Baldi *La vita, le opere, la biblioteca*, Milano 2002.
Settis S., *Archeologia delle macchine*, in Veneziani 2005, pp. 1-18.
Simeoni L., Machina *e* machinatio *in Vitruvio*, in Veneziani 2005, pp. 141-157.
Simms D.L., *Archimedes the* mêchanikos, in Schürmann 2005, pp. 164-183.
Sina M., Machina-Machine *negli scritti filosofici di John Locke*, in Veneziani 2005, pp. 345-364.
Singer Ch., *Breve storia del pensiero scientifico*, Torino 1961 (tit. or.: *A short history of scientific ideas to 1900*, London 1959).
Singer Ch./ Holmyard E.J./ Hall A.R./ Williams T.I., a c. di, *Storia della tecnologia*, vol. I 1-2 *Dai tempi primitivi alla caduta degli antichi imperi* (fino al 500 A. C. circa), Torino 1992 (1ª ed. 1961; 1966[2]; tit. or. *A history of technology*, Oxford 1954); vol. II 1-2 *Le civiltà mediterranee e il Medioevo* (circa 700 A.C.-1500 D.C.), Torino 1993 (1ª ed. 1962; tit. or. *A history of technology*, Oxford 1956); vol. III 1 *Il Rinascimento e l'incontro di scienza e tecnica* (circa 1500-1750), Torino 1993 (1ª ed. 1963; ; tit. or. *A history of technology*, Oxford 1957).
Sinisgalli R., *I sei libri della prospettiva di Guidobaldo dei marchesi Del Monte dal latino tradotti interpretati e commentati*, Roma 1984.
Smiley T., ed., *Mathematics and necessity Essays in the history of philosophy*, Oxford 2000 («Proceed. of the British Acad.» 103).
Smith D.E., *History of mathematics*, New York 1958.
Solís Santos C., *Macchine, tecniche e meccanica*, in S. Settis, a c. di, *I Greci Storia Cultura Arte Società* 2 III, Torino 1998, pp. 705-728.
Solmsen F., *Aristotle's system of the physical world. A comparison with his predecessors*, Ithaca/ New York 1960.
Somenzi V./ Cordeschi R., a c. di, *La filosofia degli automi* Origini dell'intelligenza artificiale, Torino 1994.

Sonnabend H., ed., *Mensch und Landschaft in der Antike Lexicon der historischen Geographie*, Stuttgart 1999.

Sorabji R., ed., *Philoponus and the rejection of Aristotelian science*, London 1987.

Sorabji R., *Matter, space and motion. Theories in antiquity and their sequel*, Ithaca/ New York 1988.

Sorabji R., *Physics* The philosophy of the commentators, 200-600 AD, vol. II, London 2004.

Sorel G., *Sur divers aspects de la mécanique*, «Rev. de Métaph. et de Morale» 11 (1903) pp. 716-748.

Souffrin P., *Sur l'histoire du concept de vitesse d'Aristote à Galilée*, «Rev. Hist. Sc.» 45, 2-3 (1992) pp. 231-267.

Stabile G., Machina *e* machinatio *in età barocca*, in Veneziani 2005, pp. 321-332.

Staden H. von, ed., Herophilus *The art of medicine in early Alexandria*, Cambridge 1989.

Staden H. von, *Body and machine: interactions between medicine, mechanics, and philosophy in early Alexandria*, in Aa. Vv. 1996, pp. 85-106.

Staden H. von, *Andréas de Caryste et Philon de Byzance: médecine et mécanique à Alexandrie*, in Argoud/ Guillaumin 1998, pp. 147-172.

Stancati C., *Oltre Descartes: linguaggio e pensiero degli animali tra XVII e XVIII secolo*, in Bonicalzi 2006, pp. 113-140.

Steinmetz P., *Die Physik des Theophrastos von Eresos*, Bad-Homburg/ Berlin/ Zürich 1964.

Sticker B., *Scienza antica e moderna Possibilità e limiti della conoscenza della natura*, «Physis» 11 (1969) pp. 552-563.

Stückelberger A., *Bild und Wort* Das illustrierte Fachbuch in der antiken Naturwissenschaft, Medizin und Technik, Mainz am Rhein 1994 («Kulturgeschichte der antiken Welt» 62).

Tabarroni A., *Il problema della scienza*, in Bianchi 1997, pp. 185-205.

Taddei M., *I Robot di Leonardo*. La meccanica e i nuovi automi nei codici svelati, Milano 2007.

Tannery P., *Sur les Problèmes mécaniques attribués à Aristote*, «Mémoires Scientifiques» 3 (1915) pp. 32-36.

Tannery P., ed., *Diophanti Alexandrini Opera omnia cum graecis commentariis*, I-II, Stutgardiae 1974 (1893-1895).

Tartaglia N., vd. Masotti

Taub L., *Destini della scienza greca: eredità e longevità degli strumenti scientifici*, in S. Settis, a c. di, *I Greci Storia Cultura Arte Società* 3, Torino 2001, pp. 889-930.

Taylor A.E., *A commentary on Plato's Timaeus*, Oxford 1928.
Teani R., a c. di, Erone Alessandrino *Degli automati, ovvero macchine semoventi*, Milano 1962 (rist. an. della traduzione di Bernardino Baldi, Venezia 1589).
Timpanaro Cardini M., a c. di, Proclo *Commento al I libro degli* Elementi *di Euclide*, Pisa 1978.
Torraca L., a c. di, Aristotele *De motu animalium*, Napoli 1958.
Tosi R., *Dizionario delle sentenze latine e greche*, Milano 1991.
Totaro P., *L'*automa *e il modello della macchina in Spinoza*, in Veneziani 2005, pp. 365-384.
Traina G., *La tecnica in Grecia e a Roma*, Roma-Bari 1994.
Traina G., a c. di, *Polemologia*, in Mastrorosa/ Zumbo 2002, pp. 425-444.
Tuominen M., *Apprehension and argument Ancient theories of starting points for knowledge*, Dordrecht 2007 («Studies in the history of philosophy of mind» 3).
Tuplin C.J./ Rihll T.E., edd., *Science and mathematics in ancient Greek culture*, Oxford 2002.
Tybjerg K., *Hero of Alexandria's mechanical geometry*, in Lang 2004, pp. 29-56.
Tybjerg K., *Hero of Alexandria's mechanical treatises: between theory and practice*, in Schürmann 2005, pp. 204-226.
Ueding G., ed., *Historisches Wörterbuch der Rhetorik*, 2/3, Tübingen 1994/1996.
Ulmer K., *Wahrheit, Kunst und Natur bei Aristoteles Ein Beitrag zur Aufklärung der metaphysischen Herkunft der modernen Technik*, Tübingen 1953.
Usher A.P., *Macchine e meccanismi*, in Singer *et alii* 1993, pp. 330-353.
Vailati G., *Il principio dei lavori virtuali da Aristotele a Erone di Alessandria*, «Atti Reale Acc. Scienze di Torino» 32 (1897) pp. 940-962.
Vanpaemel G., *Mechanics and mechanical philosophy in some Jesuit mathematical textbooks of the early 17th Century*, in Laird/ Roux 2008, pp. 259-274.
Vattimo G., *Il concetto di fare in Aristotele*, Torino 1961.
Vegetti M., *Tra Edipo e Euclide. Forme del sapere antico*, Milano 1983.
Vegetti M., a c. di, *Il sapere degli antichi*, Torino 1992 («Introduzione alle culture antiche» 2; 1ª ed. 1985).
Vegetti M., *Techne*, in M. Vegetti, a c. di, Platone *La Repubblica*, Napoli 1998, pp. 193-207.
Vegetti M., a c. di, Platone *La Repubblica*, Milano 2007.
Veneziani M., a c. di, *Machina* XI Colloquio Internazionale (Roma

2004), Firenze 2005 («Lessico Intellettuale Europeo» XCVIII).
Veneziani M., Machina *negli scritti di Vico*, in Veneziani 2005, pp. 461-475.
Vérain J., ed., Julien Offray de La Mettrie *L'homme-machine*, Paris 2000.
Verbeek Th., *L'homme machine. Descartes, Boerhaave, La Mettrie*, in Veneziani 2005, pp. 447-459.
Vernant J.-P., *Mito e pensiero presso i Greci*. Studi di psicologia storica, Torino 1978 (tit. or.: *Mythe et pensée chez les Grecs*. Études de psychologie historique, Paris 1965 e 1971).
Viganò F., Machina*: una metafora organicistica. Idealismo, romanticismo, filosofia della natura*, in Veneziani 2005, pp. 489-512.
Vigliani A., a c. di, Arthur Schopenhauer *Il mondo come volontà e rappresentazione* Introduzione di G. Vattimo, Milano 1992[2] (1[a] ed. 1989).
Vilain Chr., *Circular and rectilinear motion in the* Mechanica *and in the 16th Century*, in Laird/ Roux 2008, pp. 149-172.
Wallace W.A., *Prelude to Galileo Essays on Medieval and Sixteenth-Century sources of Galileo's thought*, Dordrecht/ Boston/ London 1981 («Boston Studies in the Philosophy of Science» 62).
Wallace W.A., *Galileo and his sources* The heritage of the Collegio Romano in Galileo's science, Princeton 1984.
Wang H., *Dalla matematica alla filosofia*, Torino 2002 (rist. ed. 1984; tit. or.: *From mathematics to philosophy*, London 1974).
Waschkies H.-J., *Symmetrie als Begründungsprinzip in der vorgriechischen und griechischen Geometrie*, in Döring/ Wöhrle II 1992, pp. 155-183.
Waschkies H.-J., *Die Prinzipien der griechischen Mathematik: Platon, Aristoteles, Proklos und Euklids* Elemente, in Döring/ Herzhoff/ Wöhrle 1995, pp. 91-153.
Waschkies H.-J., *Mathematische Schriftsteller*, in Flashar 1998, pp. 365-453.
Waschkies H.-J., *Indizien zur Datierung der geometrischen Termini* στιγμή und σημεῖον *als Bezeichnungen für den 'Punkt im allgemeinen' auf die Zeit von Eudoxos und Aristoteles*, in Althoff/ Herzhoff/ Wöhrle 2000, pp. 43-81.
Wehrli F., ed., *Die Schule des Aristoteles* V *Straton von Lampsakos*, Basel 1969[2].
Weisheipl J.A., *Classification of the sciences in Medieval thought*, «Mediaeval Studies» 27 (1965) pp. 54-90.
Weiß P., *Schnellwaage*, in *Der Neue Pauly* vol. 11, Stuttgart/ Weimar 2001, coll. 200-204.

Wieland W., *La fisica di Aristotele. Studi sulla fondazione della scienza della natura e sui fondamenti linguistici della ricerca dei princìpi in Aristotele*, Bologna 1993 (tit. or.: *Die aristotelische Physik. Untersuchungen über die Grundlegung der Naturwissenschaft und die sprachlichen Bedingungen der Prinzipienforschung bei Aristoteles*, Göttingen 1970²; 1ª ed. 1962).

White K.D., *Greek and Roman technology*, London 1984.

Wolff M., *Geschichte der Impetustheorie Untersuchungen zum Ursprung der klassischen Mechanik*, Frankfurt am Main 1978.

Wolfsdorf D., *Trials of reason. Plato and the crafting of philosophy*, New York/ Oxford 2008.

Worrall J./ Currie G., a c. di, Imre Lakatos *Matematica, scienza e epistemologia* Scritti filosofici II, Milano 1985 (ed. it. a cura di M. D'Agostino; tit. or.: *Mathematics, science and epistemology* Philosophical papers II, Cambridge 1978).

Yvon (l'Abbé), *Ame des bêtes*, in *Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*, CD-Rom, Redon 1999.

Zanatta M., a c. di, Aristotele *Le categorie*, Milano 2002⁴ (1ª ed. 1989).

Zanatta M., a c. di, Aristotele *Etica Nicomachea*, 2 voll., Milano 2007¹⁰ (1ª 1986).

Zanatta M., a c. di, Aristotele *I Dialoghi*, Milano 2008.

Zanatta M., *Enti fisici ed enti matematici in Aristotele*, in De Bellis 2008, pp. 471-491.

Zhmud L., *The origin of the history of science in classical antiquity*, Berlin/ New York 2006 («Peripatoi» Philol.-histor. Studien zum Aristotelismus, 19).

Zonca V., vd. Poni 1985.

Zurcher É., *La mécanique d'Anticythère et ses implications dans le cadre de l'astronomie antique*, Nice 2004.

Parole chiave

I termini qui elencati sono discussi nelle note di commento, alle quali si rimanda per i loro usi e valori specifici nel contesto in cui sono inseriti. La terminologia geometrica è esaminata nelle note.

Aporia (ἀπορία): processi e fenomeni a prima vista contraddittori pongono 'difficoltà', 'dubbi', 'interrogativi', 'problemi' che bisogna individuare e risolvere per far procedere la ricerca, e arrivare all'individuazione della causa che li ha determinati.

Dynamis (δύναμις): il termine, che assume molte valenze, può essere inteso nel senso di 'potenza' considerata in rapporto al movimento e al mutamento. Esso implica l'idea di 'capacità' o di 'potenzialità', e nel pensiero aristotelico si definisce in relazione all'altro modo di essere di una cosa, cioè all'atto (*energeia*).

Enantios, *ta enantia* (ἐναντίος, τὰ ἐναντία): nella concezione antica, ai contrari, alla loro tensione, al loro equilibrio o squilibrio si devono armonia e ordine, o disarmonia e disordine. L'azione costruttiva o distruttiva dei contrari può spiegare i più diversi fenomeni, fungendo da modello interpretativo della realtà e da schema euristico. I contrari costituiscono l'opposizione massima all'interno dello stesso genere. Di essi si sottolineano il rapporto dinamico, il reciproco confronto e la lotta: i contrari non possono sussistere contemporaneamente, e l'uno esclude l'altro. Generazione e corruzione hanno luogo nei contrari e hanno i contrari come punto di partenza e di arrivo. Movimento, cambiamento e alterazione sono dirette conseguenze del loro agire, del loro mutamento reciproco: ogni contrario muta nel proprio contrario; e ogni mutamento ha luogo tra i contrari, nel passaggio da un contrario all'altro.

Tra le coppie di contrari più ricorrenti in questo trattato ci sono: *grande* e *piccolo*; *pesante* e *leggero*; *lento* e *veloce*; *vicino* e *lontano*; *retto* e *circolare*; *concavo* e *convesso*; *sopra* e *sotto*; *in alto* e *in basso*; *secondo natura* e *contro natura*; *principio* e *fine*; '*arte*' e '*natura*'; *movimento* e *stasi*; *motore* e *mosso*.

Ischys (ἰσχύς): la 'forza' che agisce su un corpo dall'esterno, favorendo o contrastando il movimento. Il termine può essere utilizzato come sinonimo di *dynamis*, o indicare la forza attualmente applicata in qualche sforzo fisico.

Kinesis (κίνησις): il concetto di *kinesis* è di fondamentale importanza nella filosofia aristotelica: la natura è il principio del movimento e del cambiamento; il movimento non esiste al di fuori delle cose, e ogni cosa muta o secondo la sostanza, o secondo la quantità, o secondo la qualità o secondo il luogo. Il termine indica oltre al movimento anche il mutamento qualitativo e quantitativo inerente al divenire. L'azione del muovere può essere intesa anche come avviamento, stimolo, impulso in ambiti diversi. Più generalmente, nella filosofia greca, il concetto di movimento si inserisce sia nelle problematiche fisiche sia in quelle metafisiche.

Mechane (μηχανή): 'mezzo', 'espediente' attraverso cui si raggiunge un risultato o un determinato scopo, in situazioni di difficoltà o di necessità.

Megethos (μέγεθος): 'grandezza', il termine ricorre con varie accezioni; genericamente, indica una determinazione quantitativa continua.

Phora (φορά): 'moto' locale, secondo lo spazio; 'spostamento' per spinta, trazione o rotazione.

Physis (φύσις): il concetto di 'natura' è fondamentale nella cultura greca; la sua evoluzione riflette momenti e aspetti essenziali della speculazione sulla generazione, sull'origine e sul divenire delle cose, sul principio del movimento insito in ciascuno degli esseri naturali, sulla materia, sulla forma e sulla sostanza. La *physis* implica il *logos*, l'ordine, la norma.

Rhope (ῥοπή): il termine indica essenzialmente l' 'inclinazione naturale' e ciò che la determina, l'impulso, la forza che il corpo ha in sé per natura e lo spinge a muoversi in una certa direzione, la propensione al moto. Il concetto di *rhope* è in relazione con quello di *energeia*, con il senso di una dinamicità intrinseca in quanto tendenza a perdere la staticità, l'equilibrio.

Sparton, *spartion* (σπάρτον, σπαρτίον): 'corda', 'fune'; il termine indica la corda cui è sospesa o appesa la bilancia, e per estensione l' 'asse', il 'sostegno', il 'punto di sospensione'.

Techne (τέχνη): il termine, generalmente reso in italiano con la parola 'arte', copre in realtà un'area semantica molto più vasta e si riferisce a ogni sapere specializzato sostenuto da regole e principi generali e da cognizioni certe, applicato a un'attività pratica.

Indice